



Захарченко Петро Володимирович
Заслужений працівник освіти України, професор, к. т. н., завідувач кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві Київського Національного Університету Будівництва та Архітектури (КНУБА), Віце-президент Академії будівництва України, Лауреат премії Академії будівництва України ім. М.С. Буднікова.



Гавриш Олександр Михайлович
Заслужений будівельник України, професор, к.ф.н., дійсний член Академії будівництва України, Лауреат премії Академії будівництва України ім. М.С. Буднікова.



Захаренков Роман Дмитрович
Генеральний директор ТОВ "Вік-Буд Трейд", Президент Асоціації "Виробники пінопласту" України, член-кореспондент Академії Будівництва України



Павлик Андрій Володимирович
Генеральний директор ТОВ "КНАУФ Інсулейшн Україна"



П. В. Захарченко, О. М. Гавриш
Р. Д. Захаренков, А. В. Павлик

ТОВАРОЗНАВСТВО ТЕПЛО-ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ
В ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

П. В. Захарченко, О. М. Гавриш
Р. Д. Захаренков, А. В. Павлик

ТОВАРОЗНАВСТВО ТЕПЛО-ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ В ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ



Видання 2
виправлене та доповнене

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

П. В. Захарченко, О. М. Гавриш,
Р. Д. Захаренков, А. В. Павлик

ТОВАРОЗНАВСТВО
ТЕПЛО- ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ В
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ

ПІДРУЧНИК

Видання 2, виправлене та доповнене

Київ
«Центр учбової літератури»
2019

УДК 691:699.84+699.86(075.8)

Т 34

*Допущено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів,
що навчаються за спеціальностями «Технологія будівельних конструкцій,
виробів та матеріалів» та «Товарознавство та комерційна діяльність»
(лист № 1.4/18-Г-733 від 01.04.08)*

Рецензенти:

Свідерський В. А. – доктор технічних наук, професор (завідувач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів НТТУ «КП»);

Саницький М.А. – доктор технічних наук, професор (професор кафедри будівельного виробництва НУ «Львівська політехніка»);

Дерев'янюк В. М. – доктор технічних наук, професор (директор Інституту екології та безпеки життєдіяльності в будівництві).

Захарченко П. В., Гавриш О. М., Захарєнков Р. Д., Павлик А. В.

Т 34 Товарознавство тепло- та звукоізоляційних матеріалів і виробів в енергозберігаючих технологіях. 2-ге вид. виправл. та доповн.: підручник / П. В. Захарченко, О. М. Гавриш, Р. Д. Захарєнков, А. В. Павлик – К.: КНУБА, ДГЦУ, «Центр учбової літератури», 2019. – 400 с.

ISBN 978-617-673-937-1

Наведені класифікація та технічні характеристики сучасних теплоізоляційних та акустичних матеріалів. Висвітлені останні досягнення технології виробництва та застосування цих матеріалів у вітчизняній та закордонній практиці будівництва.

Показано сучасне технологічне обладнання, що застосовується у виробництві теплоізоляційних матеріалів та виробів, методи випробування сировини та готової продукції, визначені їх основні споживні властивості.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» та «Товарознавство та комерційна діяльність», інженерно-технічних та наукових робітників будівельного комплексу, менеджерів будівельних та торговельних закладів.

УДК 691:699.84+699.86(075.8)

ISBN 978-617-673-937-1

© Захарченко П. В., Гавриш О. М.,
Захарєнков Р. Д., Павлик А. В., 2019.
© КНУБА, ДГЦУ, 2019.

Передмова до другого видання

Шановні колеги.

За час, що минув після першого видання підручника «Тепло- та звукоізоляційні матеріали і виробы в енергозберігаючих технологіях», в нашій державі відбулися значні зміни в галузі енергозаощадження.

Введені в дію нові державні будівельні норми та стандарти України з більш жорсткими вимогами до будівель громадського та житлового секторів по енергоспоживанню та застосуванню нових теплоізоляційних матеріалів із зменшеним коефіцієнтом теплопровідності.

Наша країна рухається шляхом провідних європейських країн, в яких норми енергозбереження значно жорсткіші.

Наведені в підручнику «Товарознавство тепло- та звукоізоляційних матеріалів і виробів в енергозберігаючих технологіях» альбоми технічних рішень провідних українських фірм по виробництву тепло- та звукоізоляційних матеріалів дають можливість студентам озайомитись з сучасними методами теплоізоляції будівельних конструкцій, а інженерно-технічним працівникам будівельного комплексу приймати правильні рішення щодо застосування тих чи інших матеріалів чи виробів.

З повагою. Автори.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ І. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИДИ ТА ХАРАКТЕРНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ТА АКУСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ	11
§ 1. Теплоізоляційні та акустичні матеріали. Загальні положення	11
§ 2. Основи класифікації: ознаки, визначення, одиниці виміру	15
§ 3. Конструкційні та експлуатаційні властивості теплоізоляційних та акустичних матеріалів	25
§4. Основні принципи одержання теплоізоляційних та акустичних матеріалів	35
Запитання та завдання для самостійної роботи	41
Рекомендована навчально-методична література	41
РОЗДІЛ ІІ. КЕРАМІЧНІ ІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ	43
§5. Види, властивості та галузі застосування керамічних ізоляційних матеріалів	43
§6. Основи виробництва керамічних ізоляційних матеріалів	44
§7. Керамічні діатомітові вироби	45
7.1. Сировинні матеріали	45
§8. Виробництво теплоізоляційних керамічних виробів на основі діатоміту	48
§9. Виробництво спученого перліту та виробів на його основі	52
9.1. Спучений перліт. Класифікація та основні властивості	52
9.2. Сировина для виробництва спученого перліту	53
9.3. Виробництво спученого перліту та виробів на його основі	55
9.3.1. Виготовлення спученого перліту	55
9.3.2. Види ізоляційних виробів на основі спученого перліту та їхні основні властивості. Основи виробництва	57
§10. Виробництво теплоізоляційних виробів на основі спученого керамзиту	64
10.1. Загальні відомості про спучений керамзит	64
10.2. Одержання керамзиту	66
10.2.1. Випалювання керамзиту	70
10.3. Сланцепорит	71
10.4. Глинозольний гравій	72
10.5. Випалений зольний гравій	75
10.6. Аглопорит	77
§11. Виробництво теплоізоляційних виробів на основі спученого вермикуліту	82
11.1. Загальні відомості про спучений вермикуліт	82
11.2. Одержання спученого вермикуліту.	83
10.3. Технологія виготовлення ізоляційних виробів на основі вермикуліту	86
§12. Піноскло (ніздрювате скло, склопор)	90
12.1. Види, властивості та область застосування піноскла.	90
12.2. Сировинні матеріали	94
12.3. Фізико-хімічні основи виробництва піноскла.	94
12.4. Основні показники піноскла	95

Запитання та завдання для самостійної роботи	96
Рекомендована навчально-методична література	96
РОЗДІЛ III. СКЛЯНА ТА МІНЕРАЛЬНА ВАТА	97
§ 13. Силікатна вата. Основні положення	97
13.1. Загальні відомості про мінеральну вату	97
13.2. Загальні відомості про скляну вату	99
§14. Фізико-хімічні засади утворення силікатного розплаву	100
§ 15. Сировинні матеріали	103
15.1. Сировинні матеріали для виробництва мінераловатних волокон	103
15.2. Сировинні матеріали для виробництва скляних волокон.	107
§ 16. Способи одержання розплаву для виробництва силікатного волокна	109
16.1. Підготування сировини для виготовлення силікатного волокна	109
16.2. Одержання силікатного розплаву. Типи плавильних установок. Вплив складу шихти на властивості розплаву та якість волокна	116
16.3. Плавлення мінеральної сировини у вагранках	121
16.4. Плавлення мінеральної сировини у ванних печах	126
16.4.1. Ванні печі. Загальна характеристика	126
16.5. Електродугові ванні печі у виробництві високотемпературного волокна (вати).	131
16.6. Безкоксвий плавильний агрегат неперервної дії.	132
§17. Способи виробництва мінеральної та скляної вати	134
§18. Особливості виготовлення базальтового надтонкого і скляного волокна (вати).	139
Запитання та завдання для самостійної роботи	142
Рекомендована навчально-методична література	143
РОЗДІЛ IV. ТЕПЛОЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ З СКЛЯНОЇ ТА МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ	144
§19. Загальні умови виробництва	144
§20. Види, основні властивості та сфера застосування виробів з мінеральної і скляної вати	145
§21. Формування волокнистого килима	148
§22. Нанесення зв'язуючого на волокно («сухий» та «мокрый» способи)	151
22.1. Синтетичні зв'язуючі речовини та способи введення їх у волокнистий килим	151
22.1.1. Нанесення зв'язуючого пульверизацією (розпиленням)	153
22.1.2. Нанесення зв'язуючого методом поливання	154
22.2. Нанесення бітумного зв'язуючого	155
22.3. Нанесення крохмального зв'язуючого	156
22.4. Приготування гідромаси («мокра» технологія виробництва мінераловатних виробів)	156
§23. Формування виробів	157
Запитання та завдання для самостійної роботи	162
Рекомендована навчально-методична література	162

РОЗДІЛ V. ТЕПЛО- І ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ПЛАСТМАС	164
§ 24. Вироби з газонаповнених пластичних мас. Основи класифікації виробництва	164
§ 25. Основні види пінопластів, застосування в тепло- та звукоізоляційних системах і конструкціях	168
25.1. Пінополістирол	168
25.1.1. Области застосування пінополістиролу	178
25.2. Пінополіетилен	179
25.3. Пінополівінілхлорид.	180
25.4. Фенолоформальдегідний (PF) пінопласт (пінофенопласт).	184
25.5. Сечовиноформальдегідний пінопласт	187
25.6. Пінопласт на основі поліуретанів	189
РОЗДІЛ VI. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ СИЛІКАТОВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ З ПІНОПЛАСТУ ДЛЯ ТЕПЛО- ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД.	195
§26. Застосування силікатоволокнистих (мінерально- і скловатних матеріалів) і виробів з пінопласту для тепло- та звукоізоляції будівель і споруд	195
26.1. Основне призначення силікатоволокнистих матеріалів і виробів з пінопласту при облаштуванні систем теплоізоляції будівель і забезпеченні комфортного мікроклімату в приміщенні	196
26.2. Теплофізичні характеристики ізоляційних матеріалів. Основи європейської стандартизації. Загальні вимоги до облаштування теплозахисту будівель	201
26.2.1. Експлуатаційні вимоги до теплоізоляційних матеріалів	201
26.2.2. Основи європейської стандартизації теплоізоляційних матеріалів. Експлуатаційні вимоги	201
26.2.3. Основні положення побудови ізолюючих систем, що забезпечують надійність експлуатації будинків, які ізолюються	219
§27. Основні принципи технічних рішень тепло- та звукоізоляції будівель і споруд	221
§28. Основні типи систем утеплення фасадів	224
§29. Основні елементи будови комплексних систем тепло- і звукоізоляції будинків. Матеріали, основні експлуатаційні властивості	228
29.1. Система скріпленої теплоізоляції А (ССТ).	230
29.1.1. Підготовчі роботи	234
29.1.2. Утеплювач	234
§30. Основні конструктивні вузли й матеріали теплозвукоізоляції будинків	235
30.1. Загальні вимоги до конструктивних рішень щодо теплозвукоізоляції й тепло- і звукоізоляційних матеріалів	235
30.2. Конструктивні рішення зовнішніх стін та перегородок	239
30.2.1. Зовнішні стіни з опорядженням цеглою	240
30.2.2. Зовнішні стіни з вентиляваним повітряним прошарком та індустріальним опорядженням	243
30.2.3. Зовнішні тришарові стіни з опорядженням сталевим оцинкованим профільованим листом	246
30.2.4. Зовнішні тришарові стіни поелементного збирання	247

30.2.5. Зовнішні дерев'яні стіни каркасного типу	247
30.2.6. Зовнішні дерев'яні стіни з бруса	248
30.2.7. Перегородки	248
§31. Конструкції горіщного перекриття, підлог та інших видів перекриттів	250
31.1. Конструкція горіщного перекриття.	250
31.2. Конструкція підлог та перекриттів	252
31.3. Конструкція підвісної стелі	253
31.4. Конструкція похилої (скатної) покрівлі з різними видами покриттів	254
31.4.1. Похила покрівля мансард	254
31.4.2. Покриття з профільованим настилом та покрівлею з оцинкованих сталевих профільованих листів	255
Запитання та завдання для самостійної роботи	257ф
Рекомендована навчально-методична література	258

РОЗДІЛ VII. АВТОКЛАВНІ ТА НЕАВТОКЛАВНІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНО-КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЗУЧИХ (АВТОКЛАВНІ ТА НЕАВТОКЛАВНІ НІЗДРЮВАТІ БЕТОНИ). 259

§32. Класифікація, види та властивості автоклавних та неавтоклавних ніздрюватих бетонів	259
32.1. Властивості ніздрюватих бетонів	263
§33. Сировина для виробництва ніздрюватих бетонів	271
§ 34. Виробництво ніздрюватобетонних виробів	273
§ 35. Технологія зведення малоповерхового житла з ніздрюватобетонних виробів	286
Запитання та завдання для самостійної роботи	288
Рекомендована навчально-методична література	288

РОЗДІЛ VIII. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ З ДЕРЕВИНИ. 289

§36. Деревиноволокнисті плити	289
36.1. Сировинні матеріали	291
36.2. Виробництво деревиноволокнистих плит	292
36.2.1. Підготовка сировини	293
36.2.2. Підготовка деревиноволокнистої маси	293
36.2.3. Проклеювання деревиноволокнистої маси	294
36.3. Формування плит	294
36.4. Сушка плит	294
§ 37. Деревиностружкові плити.	295
37.1. Сировинні матеріали	295
37.2. Виробництво деревиностружкових плит.	295
38.1. Технологія виробництва фанери	300
§ 39. Фіброліт	303
39.1. Класифікація та основні властивості.	303
39.2. Сировинні матеріали	304
39.3. Технологія виробництва фіброліта	305
§ 40. Теплоізоляційно-конструктивні вироби на основі деревино-цементних композицій.	308
40.1. Арболіт.	308
40.2. Ксилоліт	309

§ 41. Інші типи плит на основі деревини	310
41.1. Плити OSB.	310
41.2. Плити MDF	311
41.3. Панелі та кесони	311
41.4. Профільовані (фасонні) елементи з лісоматеріалів	311
Запитання та завдання для самостійної роботи	312
Рекомендована навчально-методична література	312
Розділ IX. ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПІВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ	313
§42. Європейський досвід енергоефективного будівництва на засадах сталого розвитку	313
§43. Застосування теплоізоляційних матеріалів в будівництві на засадах сталого розвитку	324
§44. Шляхи підвищення енергоефективності будівель	330
Запитання та завдання для самостійної роботи	336
Рекомендована навчально-методична література	336
РОЗДІЛ X. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ	337
§ 45. Загальні вимоги	337
§46. Визначення густини	340
46.1. Визначення густини плоских, фасонних і шнурових виробів	340
46.2. Визначення густини пухких волокнистих матеріалів	342
§ 47. Визначення вологості	343
§ 48. Визначення сорбційної вологості	344
§ 49. Визначення водовбирання	345
§ 50. Визначення вмісту органічних речовин	352
§ 51. Визначення повноти поліконденсації фенолоформальдегідного зв'язуючого	353
§ 52. Визначення міцності на стиск при 10% лінійній деформації	354
§ 53. Визначення границі міцності при стиску	355
§ 54. Визначення границі міцності при вигині	356
§ 55. Визначення границі міцності при розтягненні волокнистих матеріалів і виробів	357
§ 56. Визначення стисливості та пружності неорганічних волокнистих виробів	359
§ 57. Визначення гнучкості силікатних волокнистих матеріалів та виробів	361
§ 58. Визначення лінійної температурної усадки	361
§ 59. Визначення середнього діаметра волокон мінеральної та скляної вати	363
§ 60. Визначення коефіцієнту теплопровідності.	365
§ 61. Визначення коефіцієнта звукопоглинання.	371
Запитання та завдання для самостійної роботи	374
Рекомендована навчально-методична література	374
ДОДАТКИ	376

ВСТУП

Проблема енерго- та ресурсозбереження є стратегічним завданням економіки України. Це пов'язано з великим обсягом імпорту енергоносіїв, а також широким колом не вирішених питань застарілих енерговитратних технологій в металургії, хімічній промисловості, експлуатації «холодних» житлових будинків перших масових серій та інших.

Серед ключових показників, які передбачається забезпечити в результаті реалізації Стратегії сталого розвитку "Україна – 2020" [1], очікується досягнення енергоємності валового внутрішнього продукту на рівні 0,2 т н.е./тис. дол. США ВВП за даними Міжнародного енергетичного агентства.

Подальше планування зменшення зазначених питомих показників в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" [2] передбачає забезпечення зниження енергоємності ВВП до 2035 року більш ніж у два рази – від поточних 0,28 т н.е./тис. дол. США до 0,13. У сфері енергоефективності та охорони довкілля передбачається запровадження стандартів будівництва «пасивний дім», досягнення цільових показників скорочення викидів SO_2 , CO_2 .

Головні напрями підвищення енергоефективності економіки України передбачають скорочення енергоспоживання домогосподарств, комерційного та комунального секторів на потреби опалення шляхом підвищення енергоефективності житлових і громадських будівель, для чого основними завданнями економіки поряд з іншими напрямками визначено за необхідне забезпечити подальше підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій у будівлях (теплоізоляція стін, дахів і підвалів). Враховуючи, що зазначеного підвищення термоопору огорожувальних конструкцій потребує в Україні біля 1,1 млрд.м² існуючих будівель житлово-громадського призначення, виникає потреба у відповідному сталому зростанні забезпечення заходів з утеплення будівель сучасними ефективними теплоізоляційними матеріалами

У зв'язку з цим надзвичайної актуальності набуває виробництво та застосування теплоізоляційних матеріалів, які дозволяють суттєво знизити енерговитрати та підвищити комфортність проживання в житлових будинках. Враховуючи те, що вартість будівельних матеріалів перевищує 50% загальної вартості будинків та споруд, важливим є правильний вибір матеріалів з урахуванням можливих витрат на їх виробництво, перевезення та монтаж і експлуатацію. При цьому особлива увага повинна приділятися зниженню енерговитрат у виробництві будівельних матеріалів та виробів, їх

теплофізичним характеристикам при використанні останніх в будівництві, а також можливості повторного їх використання або утилізації після закінчення терміну експлуатації споруди.

В Україні накопичений значний досвід виробництва та використання ефективних теплоізоляційних та акустичних будівельних матеріалів (мінераловатні, газобетонні, пінополістирольні вироби та інші). В той же час обсяги їх виробництва дуже далекі від насичення ринку вітчизняною продукцією. В останній час в цьому сегменті будівельної індустрії відбуваються позитивні зміни: так у 2004 р. Кабінетом Міністрів України затверджена програма розвитку виробів з пористого бетону, всесвітньо відома фірма KNAUF задекларувала наміри щодо будівництва в Київській області найбільшого в Європі підприємства по виробництву матеріалів та виробів з скляної вати, фірми Segis (Франція) та Winnerberger (Австрія) розглядають можливість організації виробництва в Україні високопористої керамічної цегли, бурхливо розвивається виробництво продукції з пінополістиролу.

В підручнику розглянуті широка номенклатура тепло- та звукоізоляційних виробів, їх функціональні та споживні властивості, методи випробування сировини та готових матеріалів.

Надзвичайно важливими на думку авторів є наведені у підручнику дані щодо позитивного досвіду Німеччини у вирішенні питань підвищення енергоефективності житлового фонду.

Підручник «Товарознавство тепло- та звукоізоляційних матеріалів і виробів в енергозберігаючих технологіях» призначений для засвоєння курсу з такою ж назвою студентами будівельних вищих навчальних закладів, а також інженерно-технічними працівниками, зайнятими у будівельному комплексі, спеціалістами органів місцевої влади, підприємств енергопостачання, менеджерами торговельних закладів.

Автори із вдячністю приймуть усі зауваження, які будуть спрямовані на покращення змісту підручника при його перевиданні.

РОЗДІЛ І.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИДИ ТА ХАРАКТЕРНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ТА АКУСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

§ 1. Теплоізоляційні та акустичні матеріали. Загальні положення

Теплоізоляційні та акустичні матеріали й вироби повсюдно використовують в різних галузях промисловості та будівництва.

Призначення цих матеріалів полягає в зниженні негативного впливу зовнішніх факторів (висока й низька температури, шумові навантаження), що супроводжують виробничу діяльність людини та її побут.

Їхнє застосування дозволяє значно підвищити ефективність зведення та експлуатацію об'єктів промислового і цивільного призначення, знизити їхню масу, покращити умови праці, створити комфортні акустичні умови у приміщеннях та забезпечити затишні умови проживання.

Зважаючи на запровадження в будівництві європейських підходів щодо обов'язковості забезпечення основних вимог Технічного регламенту [3] при зведенні та експлуатації об'єктів архітектури, доцільно звернути увагу, що використання тепло- і звукоізоляційних матеріалів необхідне для забезпечення більшості основних регламентних вимог, включаючи механічний опір і стійкість, пожежну, санітарно-гігієнічну, експлуатаційну безпеку, захист від шуму і енергоефективність. Відповідність властивостей матеріалів вимогам, що формуються з урахуванням сучасних уявлень щодо мінімального рівня суттєвих характеристик продукції, є запорукою забезпечення безпеки і експлуатаційної надійності об'єктів протягом розрахункового терміну їх експлуатації.

Численна номенклатура теплоізоляційних та акустичних виробів ґрунтується на порівняно невеликому підборі вихідних сировинних матеріалів. Суттєва зміна властивостей виробів та розширення області їхнього застосування у тих чи інших умовах досягається завдяки зміні технологічних прийомів отримання готового продукту.

Залежно від галузі застосування та технічних вимог теплоізоляційні та акустичні матеріали виготовляють за відповідною технологією з різних видів сировини. Вони відрізняються особливостями структури, густиною, принципом одержання та рівнем необхідних експлуатаційних характеристик. Проте такі матеріали мають і низку загальних властивостей, що є характерними для даного класу матеріалів.

Як правило, теплоізоляційні та акустичні матеріали й вироби мають середню густину не вищу за 500 кг/м^3 , вони не повинні вступати у хімічну реакцію з навколишнім середовищем, елементами конструкції та опорядження, на які вони монтуються, спричиняючи подальше погіршення розрахункових експлуатаційних та естетичних характеристик як власних, так і дотичних до них матеріалів. У процесі експлуатації теплоізоляційні та акустичні матеріали не повинні виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин в складі і кількості, що перевищує вимоги чинних нормативно-правових актів.

Теплоізоляційні матеріали застосовуються в елементах огорожувальних конструкцій, де необхідно знизити інтенсивність теплового потоку крізь них для зменшення теплових втрат та отримання нормативного рівня температурно-вологісного режиму приміщень та інженерних систем і частин об'єкту.

Забезпечуючи постійне зниження споживання енергоресурсів до рівня розвинутих країн, підвищення комфорту мешканців житлового фонду, з 1 травня 2017 введено в дію нову редакцію ДБН В 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», якими визначається обов'язковість забезпечення європейського рівня параметрів теплоізоляційної оболонки об'єктів житлово-громадського призначення (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель $R_{q \min}^*$

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	6,0	5,5
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	4,95	4,5
4	Горищні перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5
5	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
6	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
7	Зовнішні двері	0,6	0,5

На відміну від попередньої редакції ДБН, якою передбачалось оцінювання питомого енергоспоживання будівлі тільки на її опалення, в новій редакції запроваджено оцінювання з метою

* Джерело: ДБН В 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» таблиця 3, с.12

забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на опалення, охолодження та гаряче водопостачання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівель.

Загальне підвищення вимог до експлуатаційних характеристик огорожувальних конструкцій будівлі, їх стабільності в часі, розширення переліку суттєвих санітарно-гігієнічних характеристик життєвого середовища потребує від постачальників теплоізоляційних матеріалів відповідного підвищення стабільності і якості матеріалів, переходу на сучасні методи оцінки їх відповідності нормативним документам, що пройшли перевірку під час виробництва і експлуатації продукції в розвинутих країнах.

Законодавче запровадження обов'язкової енергетичної сертифікації будівель, підвищення відповідальності енергоаудиторів за достовірність оцінки енергоспоживання об'єкту сприятиме об'єктивності визначення теплоізоляційних властивостей окремих елементів і частин будівель, що в результаті сформує більш жорсткі вимоги до ринку цих матеріалів і сприяє розвитку конкуренції між виробниками.

В таблиці 1.2. наведені нормативні вимоги до теплоопору будівельних конструкцій в різних країнах світу.

Таблиця 1.2.

Співставлення нормативних вимог термоопору будівельних конструкцій в різних країнах

Країна	Опір теплопередачі, м ² К/Вт				Питомі тепловтрати, кВт·г/м ²
	стіни	покриття	перекриття	вікна	
Україна	2,8	3,3	3,3	0,6	90-180
Росія	2,9	3,7	4,2	0,4	95-195
Німеччина	1,8-5,0	5,8	3,5	0,7	30-70
Литва	3,33	5,55	4,0	0,52	—
Данія	3,3	5,0	3,4	0,4	55
Фінляндія	3,5	4,5	4,5	0,47	—
Польща	3,0	3,0	3,0	0,5	70-100
Словаччина	3,1	5,0	5,0	0,59	30-100
Канада	3,2-4,1	6,6	6,6	0,6	30-70

Для розуміння особливостей формування вимог до тепло- та звукоізоляційних матеріалів, визначення суттєвих характеристик і параметрів, що визначають ефективність використання тих або інших матеріалів за призначенням, розглянемо особливості їх роботи в процесі експлуатації.

Передача тепла може здійснюватися через матеріал – теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням, які проявляються в будівельних елементах різною мірою.

- *Теплопровідність:*

Це фізична величина, що характеризує інтенсивність кондуктивного теплообміну в речовині, яка дорівнює відношенню густини теплового потоку до градієнта температури .

- *Конвекція:*

Для передачі тепла способом конвекції необхідне відповідне середовище, наприклад, газ (повітря) або рідина (вода). Її можна розділити на:

- вільну конвекцію (наприклад, підняття нагрітого повітря над батареєю опалення);
- примусову конвекцію (приміром, при нагріванні тепловентилятором);
- змішану конвекцію (при протязі).

- *Теплове випромінювання:*

Цей вид передачі тепла не залежить від середовища і здійснюється у формі електромагнітних хвиль між поверхнями не пов'язаних одне з одним твердих тіл різної температури. Опромінюване тіло відбиває частину променевої енергії, яка потрапляє на нього (рефлексія), частину перетворює знову в теплову енергію (абсорбція), а частину пропускає крізь себе (трансмісія).

Акустичні матеріали за призначенням та за принципом ізолюючого ефекту поділяють на звукоізоляційні та звуковбирні.

Принцип дії звукоізоляційних матеріалів базується на усуненні неперервності жорсткої конструкції за допомогою введення розриву на шляху звукових коливань, фізичного роз'єднання елементів огороження. Тому звукоізоляційні матеріали використовуються як відповідні прокладки у конструкціях різноманітних споруд, міжповерхових перекриттів будівель, а також у складних конструкціях стін і перегородок для зниження інтенсивності потоку звукових хвиль, що поширюються в повітрі, до нормативних значень. У цьому випадку енергія звука витрачається на пружні деформації звукоізолюючих прокладок.

Звуковбирні матеріали та конструкції застосовують для зниження рівня шуму, а також створення спеціальних акустичних умов у приміщеннях. Принцип їхньої дії полягає у поглинанні звукової енергії порами, порожнинами та іншими порожнистими ділянками структури матеріалу.

Звуко- та шумозахисні властивості зовнішньої стіни визначаються, в основному, відношенням її маси до поверхні. В Німеччині якість звукоізоляції зовнішніх стін оцінюється за допомогою нормативного

коефіцієнта звукоізоляції R'_w . Вимоги до звукоізоляції ставляться як для зовнішніх, так і для внутрішніх стін. Ці вимоги окреслені в DIN 4109 (табл. 1.3.). Звукоізоляція капітальних стін значною мірою залежить від співвідношення маси стіни до її поверхні.

Таблиця 1.3.

Залежність звукоізоляції від конструкції стіни з покриттями та без них

Конструкція стіни	Товщина нештукатуреної стіни ¹⁾ d, мм	Нормативний коефіцієнт звукоізоляції R'_w , згідно з DIN 4109, дБ
Газобетон, $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$	150 ³⁾	32
	240	39
	300	41
Ефективна цегла з вертикальними порожнинами, $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$	115 ³⁾	36
	240	44
	300	46
Кладка з ракушняка, $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$	80 ²⁾	30
	175 ²⁾	38
	240	40
	300	43
Гіпсові плити, $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$	80 ²⁾	32 ³⁾
	100 ²⁾	35 ³⁾

¹⁾ Внутрішні стіни з покриттям зі звичайного будівельного розчину, а зовнішні — з легкого розчину.

²⁾ Внутрішні стіни.

³⁾ При роз'єднанні прилеглих елементів конструкцій значення нормативного коефіцієнта звукоізоляції R'_w можна підвищити на 2 дБ.

§ 2. Основи класифікації: ознаки, визначення, одиниці виміру

Теплоізоляційні та акустичні матеріали й вироби загалом класифікують за такими основними ознаками: видом вихідної сировини, формою, стискуваністю (пружністю), а також за спеціальними функціональними характеристиками.

За видом вихідної сировини їх поділяють на *неорганічні*, *органічні* та *змішані*.

До *неорганічних* належать мінеральні матеріали та вироби на мінеральній основі — вогнетривкі теплоізоляційні матеріали й вироби, мінеральна й скляна вата та вироби з них, ізоляційні та ізоляційно-конструктивні матеріали на основі мінеральних в'язучих, автоклавні ізоляційні та ізоляційно-конструктивні матеріали й вироби, спучені природні матеріали (керамзит, перліт, вермикуліт) та

вироби на їхній основі, вакуум-порошкова й вакуум-волокниста ізоляції, гранульовані пісок, щебінь, шлаки різного походження.

Органічні ізоляційні та акустичні вироби — продукти переробки синтетичних і природних матеріалів — пінопласти та вироби на їхній основі, деревиноволокнисті плити різного ступеня жорсткості, теплозвукоізолюючі підоснови (прокладки) на основі хімічних волокон.

Змішані матеріали та вироби — продукти, що поєднують у собі вихідні матеріали неорганічної та органічної природи (наприклад, ізоляційні штукатурки на мінеральній основі з органічним пористим заповнювачем).

За *формою* (конструктивною ознакою) розрізняють конструктивні ізоляційні вироби (плити, блоки, цегла, циліндри, напівциліндри, сегменти), рулонні (мати, смуги, матраци), шнурові (шнури, джгути), суцільні облицювання (одношарові та багатшарові, щитові та об'ємні), а також сипкі (засипка).

За *структурою та пористістю* їх поділяють на пористо-волокнисті (мінераловатні, скловатні, на основі органічних (хімічних) — природних і синтетичних — волокон); пористо-зернисті (перлітові, вермикулітові, совелітові, вапняно-кремнеземисті, на основі поропластів, а також штукатурки, штучні плити, блоки із введенням легких пористих заповнювачів); ніздрюваті (чарункувате скло, ніздрюваті бетони, керамзитобетон, пінопласти).

Характер *структури* ізоляційних матеріалів впливає вирішальним чином на їхні функціональні властивості та стабільність у часі. Під структурою мається на увазі особливість внутрішньої будови матеріалу, зумовленої ступенем кристалізації, розмірами і формою кристалів, розмірами та розміщенням пор і їх особливостями (замкнуті, відкриті).

Волокнисті матеріали складаються з волокон, між якими міститься повітря.

Пористо-зернисті матеріали складаються з окремих частинок спученого матеріалу різної форми та розмірів. У свою чергу, ці частки складаються з оболонки й пор, заповнених повітрям чи газом. При застосуванні таких матеріалів в якості засипної ізоляції між частинками також утворюються порожнини.

Ніздрюваті матеріали являють собою структуру з рівномірно розподіленими порами, форма яких наближається до сферичної.

Пористість, чи ступінь насиченості матеріалу повітряними включеннями у вигляді пор, найсуттєвіша властивість ізолюючих матеріалів, що характеризується наявністю в них закритих (замкнутих) роз'єднаних та відкритих, поєднаних між собою пор, які зазвичай заповнені повітрям чи газом (ДСТУ Б А.1.1-5-94 п.4.3.1). При цьому пористість матеріалу, яка створюється при його

виготовленні, повинна забезпечити максимальну кількість пор, пори повинні бути замкнутими, а середовище, що їх заповнює, (повітря, газ) має перебувати у нерухомому стані.

Пористість визначається як відношення загального об'єму всіх пор, що містяться в матеріалі, до його загального об'єму. Суму всіх закритих і відкритих пор називають дійсною, чи *справжньою пористістю*. Об'єм (сумарний) лише відкритих, поєднаних між собою пор, називають уявною пористістю.

Дійсну пористість Π_i обчислюють за формулою:

$$\Pi_i = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (2.1)$$

де

- ρ_0 — густина матеріалу в природному стані, кг/м^3 ,
- ρ — густина матеріалу в ущільненому стані, без пор і порожнин, кг/м^3 .

Дійсна пористість може бути виражена в об'ємних одиницях як відношення об'єму пор V_i до повного об'єму зразка V_M :

$$\Pi_i = \frac{V_i}{V_M} 100\% \quad (2.2)$$

Від кількості пор залежить показник густини матеріалу. Чим вища пористість, тим нижча густина. Пористість ізоляційних матеріалів коливається у межах від 50% (ніздрюваті бетони) до 95% (волокнисті матеріали, пінопласти тощо).

На ізолюючі властивості матеріалів значний вплив справляють розміри, форма та розташування пор. Найкращі функціональні характеристики мають матеріали з дрібними замкнутими сферичними порами. Із збільшенням розмірів пор та перетворенням їх на відкриті канали погіршуються захисні властивості матеріалів, оскільки при цьому повітря (газ), що міститься в порах, починає вільно переміщатися, циркулювати, а ізолююча здатність матеріалу при цьому погіршується. Такі матеріали легко піддаються зволоженню, що також знижує їхні функціональні та експлуатаційні характеристики.

За *густиною* матеріали поділяються на такі групи:

- *особливо легкі* (дуже низької густини з середньою густиною менш ніж 75 кг/м^3 при марках 15, 25, 35, 50, 75 (ОЛ або ОНЩ));
- *легкі* (низької густини з густиною меншою за 175 кг/м^3 марок 100, 125, 150, 175 (Л або НЩ));
- *середньої густини* з густиною менш ніж 350 кг/м^3 марок 200, 225, 250, 300, 350 (СЩ);

■ *щільні* з густиною меншою за 600 кг/м^3 марок 400, 450, 500, 600 (Щ).

Марка означає максимальну середню густину. Матеріали з проміжною середньою густиною відносять до найближчої більш високої марки.

За *жорсткістю* — відносною деформацією стиснення під дією певного навантаження — теплоізоляційні матеріали поділяють на:

■ *м'які* (М), — деформація стиснення контрольного зразка яких під питомим навантаженням 2 кПа перевищує 30%;

■ *напівжорсткі* (НЖ) з деформацією стиснення в межах 6...30% товщини контрольного зразка;

■ *жорсткі* (Ж) — деформація до 6% товщини зразка;

■ *підвищеної жорсткості* (ПЖ) — з деформацією стиснення контрольного зразка до 10% при питомому навантаженні 40 кПа;

■ *тверді* (Т) з деформацією контрольного зразка до 10% при питомому навантаженні 100 кПа.

Подібний показник існує й для звукоізоляційних матеріалів; він характеризує ефективність звукоізолюючих властивостей, яка визначається величиною E_d — *динамічним модулем пружності*, що визначається при навантаженні 1,96 кПа (за такого навантаження відносне стиснення не повинно бути меншим за 40 %). Відповідно до цього показника за ефективністю звукоізоляційні матеріали поділяються на групи:

А) $E_d < 1 \text{ МПа}$;

Б) $1 \text{ МПа} < E_d < 5 \text{ МПа}$;

В) $5 \text{ МПа} < E_d < 15 \text{ МПа}$

Теплоізоляційні та акустичні матеріали розрізняють також за *займистістю*: важкозаймисті, помірнозаймисті та легкозаймисті (ДБН В.1.1-7:2016 п. А.4).

Крім того, існують спеціальні характеристики, відповідно до яких класифікують теплоізоляційні та акустичні матеріали.

Найважливішою ознакою класифікації теплоізоляційних матеріалів, що визначає їхні теплоізолюючі властивості, є *теплопровідність*.

Теплопровідність — вид теплопередачі, тобто процес перенесення енергії (у формі теплоти) від однієї частини тіла до іншої. Теплопровідність, чи здатність пропускати тепло, залежить від природи речовини (матеріалу) та її фізичного стану. Визначення теплопровідності ґрунтується на законі Фур'є про пропорційність теплового потоку різниці температур на одиниці довжини шляху перенесення тепла за одиницю часу:

$$q_i = -\lambda \nabla t \quad (2.3)$$

Якщо умовно виділити паралельними площинами в тілі шар завтовшки $d\delta$, то через площадку dF цього шару, перпендикулярну

до напрямку теплового потоку, за одиницю часу пройде кількість тепла, що дорівнює

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial \delta} dF d\tau \quad (2.4)$$

де λ — коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом теплопровідності;

- $\frac{\partial t}{\partial \delta}$ температурний градієнт (∇t) між вибраними паралельними

площинами;

- dF — площа перенесення тепла;
- $d\tau$ — час проходження теплового потоку.

Знак мінус у правій частині рівняння свідчить про те, що температура зменшується в напрямку поширення тепла, а отже —

величина $\frac{\partial t}{\partial \delta}$ є від'ємною.

Коефіцієнт теплопровідності λ визначається за формулою:

$$\lambda = -\frac{dQ}{d\tau dF \nabla t} \quad (2.5)$$

та характеризується кількістю тепла (Дж), що проходить за одиницю часу (год.) через одиницю поверхні (m^2) при зменшенні температури (К) на одиницю довжини (м). Теплопровідність вимірюється у Вт/м·К.

З точки зору провідності тепла, теплоізоляційні матеріали поділяються на:

- *малотеплопровідні* з коефіцієнтом теплопровідності при середній температурі $25^\circ C$ ($298 K$) не більш ніж $0,058$ Вт/м·К;
- *середньотеплопровідні* — з коефіцієнтом теплопровідності в межах $0,058 \dots 0,116$ Вт/м·К;
- *підвищеної теплопровідності* — з коефіцієнтом теплопровідності не більш ніж $0,18$ Вт/м·К;

Якщо теплоізоляція призначається для поверхонь з мінусовою температурою або плюсовою не вищою за $100^\circ C$, то товщину теплоізоляції розраховують за величиною коефіцієнта теплопровідності при $25^\circ C$, для поверхонь з температурою $100 \dots 600^\circ C$ — за теплопровідністю при $125^\circ C$, а для поверхонь із температурою понад $600^\circ C$ — за теплопровідністю при $300^\circ C$.

Для акустичних матеріалів визначальним є показник зниження рівня шуму.

Ефективність вибору акустичного матеріалу залежить від його природи, інтенсивності та висоти звука, а також необхідного ступеня звукоізоляції. Верхня межа прийнятного рівня шуму для промислових

приміщень встановлена в межах 80...85 дБ, в адміністративних і житлових приміщеннях 13...51 дБ. Більшій поріг відчуття звука людиною становить близько 120 дБ.

Інтенсивність (рівень) звука визначається за кількістю енергії, що проходить крізь одиницю площі перпендикулярно до направлено поширення звука за одиницю часу та виражається у децибелах (дБ).

$$1 \text{ дБ} = 1 \text{ ерг/м}^2 \cdot \text{с} = 10^{-7} \text{ Вт/м}^2.$$

Ступінь впливу шуму на сприйняття характеризується так званою фізіологічною характеристикою звука, чи мірою його гучності, що виражається у *фонах*. 1 фон — це рівень гучності звука, для якого рівень рівнозначного йому за впливом звукового тиску при частоті хвилі 1000 Гц дорівнює 1 дБ.

Відлік рівня гучності починається від порога чутності — мінімальної чутності, яка сприймається людиною з нормальним слухом.

У таблиці 2.1. наведені характеристики деяких рівнів чутності при вихідному нульовому порозі чутності.

Таблиця 2.1.

Рівень чутності деяких джерел звука

Джерело звука	Рівень чутності, дБ
Шелест листя при слабкому вітрі	15
Шепіт на відстані 1 м	30
Напівголосна розмова	50
Шум у приміщенні типографії	70
Звук трамвая на вузькій вулиці	90
Звук автомобільного сигналу на відстані 5-7 м	100
Шум реактивного двигуна на відстані 2-3 м	1500

Ізоляцію від звуку, який передається елементом конструкції, розташованим між двома приміщеннями, і який виникає на одному з його боків унаслідок повітряного імпульсу, називають *звукоізоляцією від повітряного шуму*. На противагу цьому, при *звукоізоляції від ударного шуму* мова йде про шум, котрий з'являється внаслідок механічного збудження коливань самого будівельного елемента, у той час як при збудженні повітряного шуму збудження відбувається через повітря.

Ізоляція від повітряного шуму характеризується коефіцієнтом звукоізоляції R . Цей коефіцієнт визначається таким чином:

$$R = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ} \quad (2.6)$$

де

- P_1 — це потужність звуку, що сприймається елементом конструкції, ізольованим від інших будівельних елементів,
- P_2 — потужність звуку, випромінювана з іншого боку цього будівельного елемента.

За одиницю виміру звукоізоляції прийнято децибел (дБ). Цей показник не може бути використаний прямо, тому передачу звуку між двома приміщеннями описують так:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A_2}, \text{ дБ} \quad (2.7)$$

де

- L_1 — це рівень звуку в приміщенні, звідки звук виходить,
- L_2 — рівень звуку в приміщенні, у якому він сприймається.

Поверхня перегородки позначається S , а еквівалентна поверхня звуковбирання в приміщенні приймання звуку — A_2 (визначається шляхом вимірювання часу реверберації). Якщо коефіцієнт звукоізоляції вираховується при умові того, що в передаванні звуку бере участь не тільки поділяючий будівельний елемент, а й будівельні елементи, розміщені по його бокових сторонах, то коефіцієнт звукоізоляції R позначають штрихом — R' .

У Німеччині цей коефіцієнт, який зазвичай називають коефіцієнтом будівельної звукоізоляції, вимірюється й зазначається в документації на елементи конструкцій, за винятком вікон і дверей. Коефіцієнт звукоізоляції R' залежить від частоти, що графічно зображається кривою (див. рис. 2.1.).

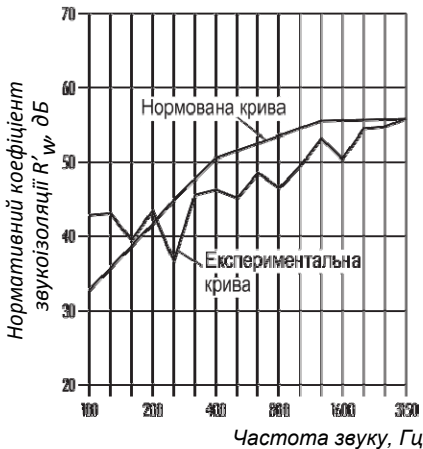


Рис. 2.1. Залежність коефіцієнта звукоізоляції будівельного елемента від частоти звуку

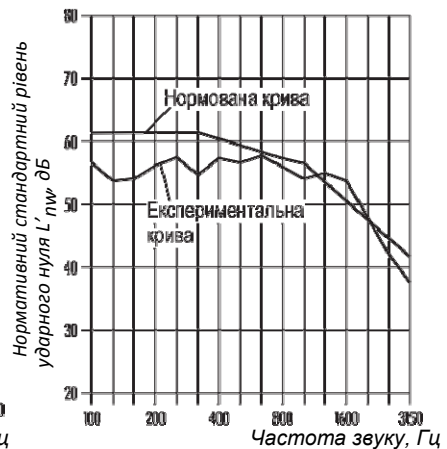


Рис. 2.2. Залежність стандартного рівня ударного шуму будівельного елемента від частоти звуку

Нормування коефіцієнта звукоізоляції здійснюється на підставі нормативної (базисної) кривої — відповідно до DIN 52210. Положення нормативної кривої відносно експериментальної мусить бути таким, щоб розбіжність між вимірними значеннями та величинами, котрі визначаються за допомогою нормативної кривої, у середньому становила не більш ніж 2 дБ. Величина коефіцієнта звукоізоляції, що відповідає ординаті точки на нормативній кривій при 500 герцах, становить в цьому випадку чисельне значення нормативного коефіцієнта звукоізоляції R'_w .

У таблиці 2.2. наведені значення нормативного коефіцієнта звукоізоляції R'_w для деяких будівельних конструкцій.

Оскільки ударні шуми належать до шумів механічних, був запропонований нормативний метод їхнього збудження. Він полягає в тому, що на перекриття, котре піддається випробуванню, установлюють молоткову дробарку й потім під час її роботи вимірюють рівень звуку, який виникає в приміщенні під цим перекриттям або в сусідньому приміщенні. Цей рівень звуку L відносять до величини нормативної поверхні звуковбирання $A_0 = 10 \text{ м}^2$ й у результаті дістають таке рівняння:

$$L_n = L + 10 \lg \frac{A}{A_n}, \text{ дБ} \quad (2.8)$$

Тут A відповідає значенню поверхні звукопоглинання в приміщенні, де проводяться вимірювання. Рівень звуку L'_n , що розраховується таким чином, позначається як стандартний рівень ударного шуму й так само, як нормативний коефіцієнт звукоізоляції, подається графічно залежно від частоти (див. рис. 2.2.).

Для визначення окремого значення нормативного рівня ударного шуму нормативну криву зміщують щодо експериментальної доти, доки розбіжність значень на двох кривих у середньому не перевищуватиме щонайбільше 2 дБ. Значення відліку на ординаті, що відповідає точці на нормативній кривій при 500 герцах, відповідає нормативному стандартному рівню ударного шуму $L'_{n,w}$.

Вимоги до звукоізоляції (див. таблицю 2.3.) є результатом урахування звукових коливань, що створюються унаслідок повітряних та ударних шумів з одного боку стіни (тобто в приміщенні, де шуми виникають), та рівня звуку, який сприймається з іншого боку стіни (тобто в приміщенні, де чуто шуми). Рівень звуку в приміщенні, де він сприймається, або його інформативність залежить від так званого рівня звукового фону.

Рівень звукового фону в тихих житлових кварталах відносно низький (10...30 дБ [A]), а у кварталах із шумами від руху транспорту — високий (25...45 дБ [A]). Якщо звукоізоляція будівельних елементів погана, то цей недолік у квартирах з високим рівнем звукового фону

Таблиця 2.2.

Вимоги та рекомендації щодо звукоізоляції багатопверхових будинків з квартирами й робочими приміщеннями від дії повітряного та ударного шуму, згідно з D1N 4109 (11.89) і додатком 2 до DIN 4109 (у скороченому вигляді)

Будівельні конструкції		Вимоги		Рекомендації	
		R' _w , дБ	L' _{n,w} , дБ	R' _w , дБ	L' _{n,w} , дБ
Перекриття	Перекриття під горищними приміщеннями спільного користування, наприклад для сушіння білизни, для комірчин	53 ¹⁾	53 ¹⁾	≥ 55	≤ 46
	Перекриття, котрі відокремлюють одна від одної квартири (а також сходи), та перекриття між підсобними приміщеннями чи аналогічними їм	54 ²⁾	54 ²⁾³⁾	≥ 55	≤ 46
	Перекриття над підвалами, під'їздами, сходовими клітками під приміщеннями тимчасового перебування людей	52	53 ³⁾	≥ 55	≤ 46
	Перекриття над проїздами, в'їздами центральних гаражів тощо під приміщеннями для тимчасового перебування людей	55	53 ³⁾	—	≤ 46
	Перекриття під (над) приміщеннями для ігор або подібними громадськими приміщеннями	55	46	—	—
	Перекриття під терасами та лоджіями над приміщеннями для тимчасового перебування людей	—	53	—	≤ 46
	Перекриття під критими галереями	—	53	—	≤ 46
	Перекриття та сходи всередині квартир, які розташовані на двох поверхах	—	53 ¹⁾³⁾	—	≤ 46
	Перекриття під ванною й туалетом без дренажу чи з дренажем	54	53 ¹⁾³⁾	≥ 55	≤ 46
	Перекриття під під'їздами	—	53 ³⁾	—	≤ 46
Сходи	Сходові марші та сходові площадки	—	58 ⁴⁾	—	≤ 46
Стіни	Квартирні перегородки та стіни між підсобними приміщеннями	53	—	≥ 55	—
	Стіни сходових кліток і стіни поруч із парадними	52 ⁵⁾	—	≥ 55	—
	Стіни поряд із проїздами, в'їздами в гаражі для великої кількості машин тощо	55	—	—	—
	Стіни приміщень для ігор та подібних громадських приміщень	55	—	—	—
Двері	Двері, що ведуть із під'їздів та зі сходових кліток у холи й передпокої квартир та гуртожитків, або ж робочих приміщень	27 ⁶⁾	—	≥ 37	—
	Двері, які ведуть із парадних і зі сходових кліток безпосередньо в приміщення тимчасового перебування людей у квартирах, окрім холів та передпокоїв	37	—	—	—

- ¹⁾ Для будинків, що мають понад 2 квартири, ставляться такі вимоги: необхідне значення R'_w , — 52 дБ, а $L'_{n,w}$ = 63 дБ.
- ²⁾ Для будівель, котрі мають не більш ніж 2 квартири: необхідне значення R'_w = 52 дБ.
- ³⁾ Щодо покриттів підлог, які є пружними, вимоги до звукоізоляції від ударного шуму можуть не дотримуватися; у будинках, що мають не більш як 2 квартири, пружні покриття підлоги можуть урахуватися.
- ⁴⁾ Вимоги до сходових маршів у будівлях з ліфтами відсутні.
- ⁵⁾ Для стін, що мають двері, діє така вимога: необхідне значення R'_w (для стіни) = необхідне значення R_w (для дверей) + 15 дБ. Тут необхідне значення R_w (для дверей) означає нормативну звукоізоляцію дверей відповідно до даних цієї таблиці. Стіни завтовшки 30 см при цьому до уваги не беруться.
- ⁶⁾ Для дверей дійсним є R_w замість R'_w .

буде ледь-ледь помітним або не помічатиметься взагалі, тоді як у затишних квартирах цю ваду можна розглядати як заподіювання неабиякої шкоди. Для того, щоб мати для всіх будинків однакові вихідні дані при проектуванні, їх визначили нормативом DIN 4109. У таблиці 2.2. узагальнені вимоги та рекомендації з вибору значень нормативного коефіцієнта звукоізоляції R'_w та нормативного стандартного рівня ударного шуму $L'_{n,w}$ відповідно до DIN 4109.

- **Нормативні документи**

- DIN 4109 Звукоізоляція в надземному будівництві. Вимоги та вказівки.

- DIN 4109 Додаток 1. Звукоізоляція в надземному будівництві. Приклади виконання та методи розрахунку.

- DIN 4109 Додаток 2. Звукоізоляція в надземному будівництві. Вказівки з планування та виконання. Пропозиції щодо поліпшення звукоізоляції. Рекомендації зі звукоізоляції власного житла або робочої ділянки.

- DIN 52210 Акустичні випробування в будівництві. Ізоляція від повітряного та ударного шуму.

- ДСТУ Н.Б.В 1.1-32:2013 Настанова з проектування захисту від шуму в приміщеннях засобами звукопоглинання та екранування.

- ДСТУ Н.Б.В 1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій.

- ДСТУ Н.Б.В 1.1-34:2013 Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків.

- ДСТУ Н.Б.В 1.1-35:2013 Настанова з розрахунку рівнів шуму в приміщеннях і на територіях.

Підбір акустичних матеріалів та необхідної товщини ізолюючого шару для забезпечення нормативного рівня шуму в приміщеннях

різного призначення зумовлений як природою ізолюючого матеріалу, так і характером джерела звукового впливу. Ефективність звуковбирання деякими акустичними матеріалами залежно від частоти звукових хвиль характеризується даними таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Ефективність звукопоглинання деякими акустичними матеріалами

Види матеріалів	Коефіцієнт звукопоглинання при частоті звукових хвиль, Гц				
	125	500	1000	2000	4000
Плити мінераловатні	0,05	0,66	0,91	0,96	0,89
Плити з ніздрюватого бетону	0,08	0,36	0,62	0,77	0,76
Акустичний фіброліт	0,06	0,25	0,38	0,58	0,63

Використовуючи наведені вище дані можна зробити деякі висновки щодо конкретних видів теплоізоляційних та акустичних матеріалів: їхньої будови, функціональних особливостей, взаємовпливу природи та властивостей цих матеріалів.

§ 3. Конструкційні та експлуатаційні властивості теплоізоляційних та акустичних матеріалів

Теплоізоляційні та акустичні матеріали, аналогічно до інших будівельних матеріалів, у процесі будівництва, монтажу та експлуатації можуть зазнавати механічного, термічного та агресивного впливу з боку зовнішніх сил і навколишнього середовища. На них впливають стискаючі, розтягуючі та інші види механічних навантажень (зусиль), атмосферні опади, екстремальні температури, агресивні рідини й газу. Тому, залежно від призначення та галузі застосування, ці матеріали повинні мати відповідні властивості, що забезпечують їхнє стабільне функціонування впродовж певного часу. Найважливіші з цих властивостей розглянуті нижче.

Теплопровідність — здатність матеріалів проводити тепло, характеризується коефіцієнтом теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності визначають малоінерційним тепломіром як стаціонарний потік теплоти, що проходить крізь досліджуваний зразок.

Експериментальним шляхом визначено, що коефіцієнт теплопровідності залежить від структури та стану речовини (складу, густини, вологості тощо). Великий вплив на теплопровідність мають

пористість і вологість. Із підвищенням пористості матеріалів їхні теплоізолюючі властивості зростають.

Залежність коефіцієнта теплопровідності (λ) від температури для більшості матеріалів має лінійний характер:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + bt), \quad (3.1)$$

де

- λ_t – значення коефіцієнта теплопровідності при температурі t °С;
- λ_0 – те ж саме при 0 °С;
- b – постійна величина, що залежить від властивостей матеріалу.

У технічних розрахунках, як згадувалося вище, значення t приймають зазвичай як сталу величину, що дорівнює середньоарифметичному значенню в певних межах вимірювання температур.

Під час розрахунку товщини теплоізолюючого шару теплопровідність утеплювача приймають з урахуванням його експлуатаційної вологості, оскільки теплопровідність повітря при 0 °С у порах діаметром 0,03...0,1 мм становить 0,024...0,031 Вт/мК, води 0,58 Вт/мК, льоду — 2,36 Вт/мК.

Для орієнтації за порядками величин показників теплопровідності будівельних матеріалів служать такі значення λ : чисті провідники тепла, як, наприклад, метали, мають теплопровідність понад 10 Вт/мК. Щільні натуральні та штучні камені, а також земля, мають теплопровідність між 1,0 і 6,0 Вт/мК. Безліч популярних будівельних матеріалів мають теплопровідність від 0,1 до 1,0 Вт/мК. Високоєфективні теплоізоляційні матеріали мають теплопровідність від 0,02 до 0,1 Вт/мК.

Зі зростанням вологості й температури теплопровідність більшості матеріалів збільшується, а із підвищенням пористості та зменшенням розмірів пор — навпаки спадає. Аналогічна залежність простежується й для акустичних матеріалів.

Виходячи з останнього можна зробити висновок, що тепло- та вологоізоляція знаходяться у прямій залежності. З одного боку недостатня теплоізоляція призводить до виникнення «містків холоду» в зовнішній огорожуючій конструкції, і як результат, зволоження теплоізоляційного шару значно збільшує його теплопровідність, що призводить до значних тепловтрат. Це пов'язано з тим, що вода проводить тепло у 25 разів краще ніж повітря в спокійному стані. Довготривала дія проникаючої вологи може також негативно вплинути на фізико-технічні показники стінових та оздоблювальних матеріалів і значно скоротити термін їх служби (наприклад, виникнення пошкоджень внаслідок впливу морозу).

Інженерні працівники проектних та будівельних організацій повинні пам'ятати, що серед великого кола можливих впливів на будівельні конструкції проникаюча волога є одним з найбільш загрозливих факторів для їх функціональності.

Важливою технічною характеристикою будівельних конструкцій є опір теплопередачі. Опір теплопередачі $R_{ТП}$ [м²К/Вт] для одношарових будівельних елементів визначається товщиною (s) будівельного елемента й значенням його теплопровідності (λ).

$$R_{ТП} = \frac{s}{\lambda_{R}} \quad (3.2)$$

Якщо окремі шари будівельного елемента розташовані один за одним у напрямку теплового потоку, то опір теплопровідності визначатиметься шляхом розрахунку опору теплопровідності всіх шарів окремо, з урахуванням товщини їхніх шарів та числових значень, і зводиться до купи. Треба виконати додавання значень окремих шарів.

$$R_{ТП} = \frac{s_1}{\lambda_{R_1}} + \frac{s_2}{\lambda_{R_2}} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_{R_n}} = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_{R_i}} \quad (3.3)$$

В Німеччині у галузі будівництва для визначення теплоізоляції можуть використовують виключно значення теплопровідності будівельних та ізоляційних матеріалів, що регламентуються стандартом DIN 4108, частина 4, а також підтверджені сертифікатом результати перевірок фізико-технічних параметрів будівельних матеріалів. У цій нормі деякі величини мають дуже широкий діапазон.

Таблиця 3.1.а

Опір теплопередачі $R_{ТП} = \frac{s}{\lambda}$ (м²К/Вт) різних будівельних матеріалів

а) Зв'язок між теплопровідністю та опором здатності пропускати тепло залежно від товщини будівельного матеріалу												
Тепло-провідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{ТП}$ (м ² К/Вт) за товщини ізоляційного матеріалу в мм											
	15	20	30	40	50	60	70	80	100	120	140	160
0,030	0,50	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33
0,035	0,43	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71	2,00	2,29	2,86	3,43	4,00	4,57
0,040	0,38	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
0,045	0,33	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,56	1,78	2,22	2,67	3,11	3,56
0,050	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20

Таблиця 3.1.6

Опір теплопередачі $R_{Тп}$ сипких матеріалів

Будівельний матеріал	Питома густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) при насипній товщині в мм				
			10	20	30	40	50
Мінеральні сухі насипні матеріали	530	0,19	0,05	0,11	0,16	0,21	0,26
На бітумному зв'язуючому случені перліти	165	0,06	0,167	0,333	0,50	0,667	0,833
Случені перліти, небітумовані	90	0,05	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00

Таблиця 3.1.в

Нормативні показники для опору теплопередачі тепла звичайних конструкцій перекриттів (непокриті перекриття)

Вид перекриття	Товщина стельового перекриття, см	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт)
Монолітні залізобетонні перекриття	18	0,09
Залізобетонні багатопустотні перекриття	20 ¹⁾	0,24 ²⁾
Перекриття з дерев'яних балок з 14 см легким штукатурним шаром і підвісною стелею	22 ³⁾	0,66
Перекриття з дерев'яних балок з обшивкою з HWL пластин, завтовшки 35 мм, і штукатуркою 15 мм	22 ³⁾	0,40
Перекриття з дерев'яних балок з 40 мм ізоляційним шаром і підвісною стелею	22 ³⁾	0,91

¹⁾ Товщина перекриття без бетонного покриття та штукатурки

²⁾ При 50 мм бетонного покриття опір проходженню тепла зростає на 0,02 (м²К/Вт)

³⁾ Перекриття без покриття зверху

Таблиця 3.1.г

Опір теплопередачі штукатурки та безшовних покриттів підлог

Будівельний матеріал	Питома густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) за товщини шару в мм				
			15	20	30	40	50
Гіпсова штукатурка	1200	0,70	0,02	0,03	—	—	—
Вапняна/вапняно-цементна штукатурка	1800	0,87	0,02	0,02	—	—	—
Цементна штукатурка	2000	1,40	0,01	0,01	—	—	—
Ангідридне покриття	2100	1,20	—	0,02	0,03	0,03	0,04
Цементне покриття	2000	1,40	—	0,02	0,02	0,03	0,04
Покриття з литого асфальту	2300	0,90	—	0,02	0,03	0,04	0,06

Таблиця 3.1.д

Опір теплопередачі стінових матеріалів (стіни без покриття)

Будівельний матеріал	Питома густина ρ , кг/м ³	Тепло-провідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) за товщини стін у см									
			10,0	11,5	15,0	17,5	20,0	24,0	25,0	30,0	36,5	50,0
Керамічна цегла	1800	0,81	—	0,14	—	—	—	0,30	—	—	0,45	—
Порожниста цегла	1200	0,50	—	0,23	—	0,35	—	0,48	—	0,60	0,73	—
Легка порожниста цегла	800	0,33	—	—	—	—	—	—	—	0,91	1,11	—
Силікатна цегла	2000	1,10	—	0,10	—	0,16	—	0,22	—	0,27	0,33	—
Порожниста силікатна цегла	1400	0,70	—	0,16	—	0,25	—	0,34	—	0,43	0,52	—
Газобетонні блоки	600	0,24	0,42	—	0,63	0,73	0,83	—	1,04	1,25	1,52	—
Порожнисті блоки з ракушняка	800	0,39	—	—	—	—	—	0,62	—	0,77	0,94	—
Бетон	2400	2,10	0,05	—	0,07	0,08	0,10	—	0,12	0,14	—	—
Пісковик	2600	2,30	—	—	—	—	—	—	—	—	0,16	0,22

Таблиця 3.1.е

Опір теплопередачі гіпсокартонних і гіпсоволокнистих ¹⁾ плит

Матеріал	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) за товщини матеріалу в мм										
		9,5	10	12,5	15	18	3·8 ²⁾	2·9,5 ²⁾	2·10 ²⁾	2·12,5	12,5+10	12,5+15
Будівельні та протипожежні гіпсокартонні плити	0,21	0,05	—	0,06	0,07	0,09	0,11	0,09	—	0,12	0,11	0,13
Гіпсоволокнисті плити	0,36	—	0,03	0,04	0,04	0,05	—	—	0,06	0,07	—	—

¹⁾ Для багат шарових плит опір проходженню тепла $R_{Тп}$ підраховують шляхом додавання опорів матеріалу обшивки та ізоляційного матеріалу

²⁾ Багат шарові матеріали для сухих основ підлог

Таблиця 3.1.ж

Опір теплопередачі деревини та деревинних матеріалів ¹⁾

Будівельний матеріал	Питома густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) за товщини матеріалів у мм								
			10	13	16	19	22	25	30	35	40
Ялина, сосна, ялиця	600	0,13	0,08	0,10	0,12	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27	0,31
Бук, дуб	800	0,20	0,05	0,07	0,08	0,1	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20
Фанера	800	0,15	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,27
ДСП	700	0,13	0,08	0,10	0,12	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27	0,31
Тверді ДВП	1000	0,17	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24
Ізоляційні ДВП	200	0,056	0,18	0,23	0,34	0,39	—	—	—	—	—
Легкі фанерні плити	200	0,055	—	—	—	0,33	—	—	0,55	—	—

¹⁾ Для багат шарових плит опір проходженню тепла $R_{Тп}$ підраховують шляхом додавання опорів матеріалу обшивки та ізоляційного матеріалу

Таблиця 3.1.з

Опори проходженню тепла спеціальних плит покриття для підвісних стель ¹⁾

Будівельний матеріал	Питома густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла $R_{Тп}$ (м ² К/Вт) при товщині матеріалу в мм									
			15	18	20	25	30	50	60	80	100	120
Плити покриття з мінеральних волокон	380	0,05	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Плити покриття з мінеральних волокон	≥ 400	0,063	0,24	—	0,32	0,4	—	—	—	—	—	—
Легкі фанерні плити (DIN 68 762)	300	0,055	—	0,33	—	—	0,55	—	—	—	—	—
Легкі фанерні плити (DIN 18 164)	20	0,04	—	—	—	—	—	1,25	1,50	2,00	2,5	3,00

¹⁾ Металеві касети та металеві панелі не мають теплоізолюючих властивостей

Опори проходженню тепла сілікальцитних плит

Питома густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/мК	Опір проходженню тепла R_{Tn} (м ² К/Вт) за товщини матеріалу в мм									
		6	8	10	12	15	20	25	30	40	50
Сілікальцит 870 кг/м ³ (газобетон)	0,175	0,034	0,046	0,057	0,069	0,086	0,114	0,143	—	—	—
Сілікальцит 450 кг/м ³ (газобетон)	0,083	—	—	—	—	—	0,24	0,30	0,36	0,48	0,60

Якщо стандартні матеріали не наведені, наприклад, у випадку нових розробок, то числові значення їхньої теплопровідності можуть бути визначені сертифікованими перевіряючими інстанціями з подальшим затвердженням Німецьким інститутом будівельної техніки (DIBt) у Берліні. Такі значення мають бути опубліковані у Федеральному Бюлетені, лише після цього вони будуть прирівняні до значень, занесених до стандарту.

Опір теплопередачі конструкцій та матеріалів, наявних в будинках, залежить від положення й оснащення будівельних елементів. Їхні значення подані в DIN 4108, частина 4 (див. табл. 3.1.).

В Україні вимоги до енергозбереження в житлових і громадських будинках регламентуються ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель». В цьому нормативному акті також наведені посилання на нормативні документи, що регламентують визначення експлуатаційних характеристик, необхідних для проектування і влаштування теплоізоляційної оболонки будівлі.

В Німеччині для улаштування теплоізоляції існують два основні технічні регулюючі механізми:

- Рекомендації щодо теплоізоляції, які стосуються виключно вимог відповідно до енергозберігаючого теплозахисту новобудов та капітальних будинків, що перебудовуються.

- DIN 4108, котрий визначає мінімальні значення опору теплопровідності для захисту людей від неприйнятних тепловологих і гігієнічних умов в приміщеннях та для захисту будівельних конструкцій від пошкоджень.

Нормативні документи

Стандарт DIN 4108 «Теплоізоляція у висотному будівництві» поділяється на такі частини:

- Частина 1: Величини й одиниці виміру;
- Частина 2: Теплоізоляція та акумулювання тепла; вимоги і вказівки для проектування й виконання;
- Частина 3: Вологоізоляція для різних кімнатних зон; вимоги та вказівки для проектування й виконання;

- Частина 4: Теплоота вологоізоляційні параметри; вимоги і вказівки для проектування й виконання;

- Частина 5: Методи розрахунків.

Мінімальні вимоги до теплоізоляції містяться в частині 2 DIN 4108, і вони стосуються будинків, які опалюються до температур щонайменше 19 °С. При виконанні цих мінімальних вимог слід очікувати,

- що зовнішні стіни за нормальних умов опалення та вентиляції не зазнаватимуть впливу від талої води;

- що підлоги будуть достатньо «теплыми для ніг»;

- що зовнішні будівельні елементи будуть захищені від шкідливих теплових напруг.

Міцність теплоізоляційних та акустичних матеріалів і виробів, тобто здатність без руйнування чинити опір усім видам зовнішніх силових впливів, залежить від структури й фізичного стану цих матеріалів. Крихкі, волокнисті та сипучі матеріали (мінеральна та скляна вата, спучена перлітова, вермикулітова засипка) можуть чинити опір лише стискаючим навантаженням, але після зняття навантаження у них виявляються пружні деформації. У діатоміта, трепела, пемзи, вулканічних шлаків, подрібнених туфів, вулканічного попелу після стискання пружні деформації не виникають.

М'які, напівжорсткі, жорсткі, підвищеної жорсткості та тверді волокнисті матеріали (мати, войлок, плити з мінеральної й скляної вати) різною мірою чинять опір стискаючим навантаженням із певною деформацією. Міцність прошивних матеріалів із мінеральної (базальтової та скляної) вати, теплоізоляційного шнура, різноманітних мінераловатних і скловолокнистих матраців не регламентується.

Межа міцності при стисканні теплоізоляційних та акустичних матеріалів, конструкційних виробів на їхній основі з пружними й пружно-крихкими властивостями, що належать, наприклад, до пористо-зернистої та чарункуватої структури, зазвичай характеризуються значеннями, взаємопов'язаними із середньою густиною, а отже, і пористістю матеріалу (різноманітні пінопласти, ніздрюваті бетони тощо).

Загальна формула для визначення межі міцності при стисканні R_{cm} , МПа, має вигляд:

$$R_{cm} = A\rho_0^2, \quad (3.4)$$

де

- A — коефіцієнт конструктивної якості за міцністю на стискання;
- ρ_0 — середня густина матеріалу, висушеного до постійної маси, кг/м³.

Пружність — властивість матеріалу деформуватися під дією навантаження та швидко відновлювати свою початкову форму й розміри після зняття навантаження.

Межу пружної деформації визначає дія закону Гука:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3.5)$$

де

- σ — напруга, що прикладається до зразка, Н/м² (Па);
- ε — відносна деформація зразка;
- E — модуль пружності матеріалу, що характеризує його пружні властивості, Н/м².

Для оцінювання ступеня втрати пружних властивостей унаслідок сплющування використовується коефіцієнт зворотності (K_3) до початкового об'єму (форми):

$$K_3 = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1} \quad (3.6)$$

де

- ρ_1 і h_1 — відповідно густина (кг/м³) та висота (м) зразка під початковим навантаженням $5 \cdot 10^2$, Н/м²;
- ρ_2 і h_2 — густина і висота зразка після 15Ахвилинної дії стискаючого навантаження $1 \cdot 10^5$, Н/м², через 0,5 хв. після його зняття;

Релаксація напруг — процес самочинного зниження напруг, що виникають у матеріалі під дією зовнішніх сил, в умовах постійної деформації, зафіксованої жорсткими зв'язками структури матеріалу.

Механічна рівновага будь-якого тіла, у якому відбувається деформація зсуву, є уявною. Вільна енергія недеформованої молекулярної решітки є нижчою за вільну енергію тієї ж решітки, яка вже зазнала деформації зсуву. У результаті через рух молекул вільна енергія решітки знижується, настає процес релаксації.

Зростання міцності з часом через релаксацію внутрішніх власних залишкових напруг відбувається в тепло- та звукоізоляційних матеріалах, у яких основою (зв'язкою) є цементний або силікатний камінь, кераміка, затверділі полімери.

Опір ударним навантаженням — властивість матеріалу чинити опір впливу ударних навантажень без утворення видимих деформацій (вм'ятин), тріщин, руйнування конструкції. Вона характеризується межею міцності при ударі з певною енергією металеві кульки встановленого діаметру. Ця характеристика є вкрай актуальною при влаштуванні систем зовнішньої ізоляції.

Температуропровідність характеризує швидкість поширення тепла в тілі, тобто температурний градієнт, що встановлюється у матеріалі при його нагріванні (охолодженні):

$$\alpha = \frac{\lambda_M}{c_M \rho_M}, \text{ м}^2/\text{год} \quad (3.7)$$

де

- λ_M – теплопровідність матеріалу, Вт/мК;
- c_M – теплоємність матеріалу, Дж/кгК (кількість тепла, необхідна для нагрівання тіла масою 1 кг на 1 градус);
- ρ_M – густина матеріалу, кг/м³.

Теплостійкість матеріалів характеризується рівнем температури, при якому в матеріалі, що нагрівається, починається процес деструкції. Теплостійкість різних матеріалів коливається у дуже широких межах. Так, якщо стійкість до термічної деструкції каолінової вати, керамічних легкокавових вогнетривів складає (1100...1600) °С, ніздрюваті бетони витримують температуру понад 700 °С, базальтвоволокнисті матеріали на мінеральному в'язучому — (700...900) °С, мінеральна вата — (550...600) °С, мінераловатні плити на органічному зв'язуючому — (300...350) °С, то теплостійкість ізолюючих матеріалів із пластмаси значно менша: максимальна температура тривалої експлуатації для них перебуває в межах (90...110) °С, хоча сучасні матеріали на основі кремнійорганічних полімерів стійкі при температурах (350...500) °С.

Теплове розширення — властивість матеріалів збільшуватись у розмірах при нагріванні. Вона характеризується коефіцієнтом лінійного термічного розширення, який являє собою величину, на яку зразок матеріалу змінює свої розміри при нагріванні на 1 °С.

Водопоглинання — здатність матеріалу вбирати й утримувати краплинну рідину. Деякі ізоляційні матеріали з відкритими порами, що сполучаються між собою, наприклад зі скляної або мінеральної вати, добре вбирають воду, при цьому ізоляційні показники значно погіршуються. Тому ізоляція з подібних матеріалів, що експлуатується в умовах підвищеної вологості середовища, має застосовуватися в конструкціях, що не допускають зволоження ізолюючого матеріалу.

Гігроскопічність (сорбційне зволоження) — властивість матеріалу поглинати вологу з повітря. За показник гігроскопічності приймають кількість води після перебування зразка у герметизованій посудині в умовах 100Авідсоткової відносної вологості середовища.

Відносна вологість повітря

$$\varphi = e/E_{max}, \% \quad (3.8)$$

де

- e – дійсна пружність водяної пари при температурі середовища, Па;
- E_{max} – максимальна пружність водяної пари при відповідній температурі, Па.

Гігроскопічність матеріалу визначається його складом і будовою, насамперед, пористістю з відкритими сполученими порами, що виходять на поверхню. Матеріали з дрібними (капілярними) порами є більш гігроскопічними.

Чим вища відносна вологість повітря, тим більшою є сорбційна вологість матеріалу. Відносна вологість матеріалу дорівнює відношенню маси вологи в матеріалі до маси матеріалу в абсолютно сухому стані.

Збільшення гігроскопічної вологості відбувається внаслідок капілярної конденсації пари. Зміна температури середовища й гігроскопічності матеріалу також позначаються на його сорбційній вологості, а отже — ізольованих властивостях.

Морозостійкість — здатність матеріалу зберігати свої експлуатаційні показники після певної кількості циклів «заморожування-відтанення». Звісно, чим вищі водопоглинання та гігроскопічність незахищеного ізолюючого покриття, тим уразливіше воно до насичення вологою, а отже й до зниження морозостійкості.

Хімічна стійкість — стійкість матеріалів до впливу розчинів кислот, лугів, органічних розчинників і до води. Цей показник має вагомe значення для матеріалів, що використовують в умовах агресивного впливу навколишнього середовища, та належить до групи спеціальних характеристик.

§4. Основні принципи одержання теплоізоляційних та акустичних матеріалів

Будь-який теплоізоляційний чи акустичний матеріал складається із твердої фази та пор, у яких міститься повітря та у дуже невеликих кількостях волога. Об'єм повітряних пор може сягати 90% загального об'єму матеріалу залежно від призначення та необхідної міцності твердої (основної) фази.

Високопориста будова матеріалу досягається різними способами:

- створенням волокнистого каркаса різного ступеня ущільнення;
- газо- та піноутворенням;
- повітровтягуванням;
- фракційним підбором складових;
- введенням пористих заповнювачів;
- введенням вигоряючих добавок;
- случуванням водовміщуючих вулканічних порід — скла, вермикулітів, гідрослюд;
- перекристалізацією хімічних солей;
- випаровуванням води з гелів при високих температурах;

- поризацією з одночасним армуванням керамічними та вогнетривкими волокнами;
- підвищеним водотвердим відношенням при замішуванні бетонних сумішей.

Спосіб створення волокнистого каркаса ґрунтується на фізичних процесах одержання з робочого розплаву шляхом роздування різними способами та подальшого переплетення волокон мінеральної, базальтової, скляної, каолінової та іншого виду вати з одержанням вихідного волокнистого килима. Надалі килим, після просочування зв'язуючим, прошивання, формування, ущільнення та нарізання перетворюється залежно від призначення й галузі застосування на різноманітні волокнисті вироби.

Від способу створення килима, розміру й гнучкості волокон, характеру їхнього розміщення в масі матеріалу, ступеня ущільнення залежать його середня густина та експлуатаційні властивості.

Зі сформованого килима виготовляють різноманітні вироби: прошивні мати в паперовій та тканевій обкладинці, металевій сітці; матраци – фрагменти килима, упаковані в спеціальні футляри з різних матеріалів; мати з каолінової й скляної вати.

Методом горизонтального та об'ємного формування килима, складеного з мінеральних і скляних волокон, виготовляють різноманітні тепло- та звукоізоляційні вироби: плити різного ступеня густини, шкаралупи тощо.

Останнім часом, використовуючи направлену орієнтацію волокон у матеріалі (гофровану, вертикальну) та різні види органічного зв'язуючого, почали одержувати вироби зі значно вищим опором стискаючим зусиллям, ніж при хаотичному розміщенні волокон.

Спосіб газоутворення, або спучування, у процесі формування виробу, базується на спучуванні сировинної маси, яка має у цей момент властивості пружно-пластичної системи, газами, що виділяються в результаті хімічних реакцій, пов'язаних із відновленням, окисленням, розкладом компонентів, які містяться в масі. Подібний спосіб застосовується у виробництві віброформованого шамотного легковаговика, пористих вогнетривів і глинозему, плавленого вогнетриву з двоокису кремнію, ніздрюватих бетонів і скла, керамзитового гравію. Ефективність поризації зумовлюється успішним поєднанням технологічних операцій організації процесів газоутворення, розрідження та загуснення маси. У момент спучування спостерігається сукупне проходження процесів: хімічного – реакція між газоутворювачем та активно діючим на нього компонентом (наприклад, при виробництві пористого скла це реакція між Na_2SO_4 і CO , H_2O і C), уведення в масу спеціальних пороутворювачів-порофорів; фізичного – утворення в масі мікро- і макропор; фізико-хімічного – зміна реологічних властивостей маси,

що спучується, котра зазвичай являє собою висококонцентровану суспензію або розплав, який утворився і перебуває в піропластичному стані.

За хімізмом процес газоутворення поділяється на декілька видів: перший заснований на виділенні газу при взаємодії газоутворювача з компонентами маси (газоутворювач — алюмінієва пудра, карбонати, кислоти і ін.); другий заснований на виділенні газу із газоутворювачів (перекис водню, органічні газоутворювачі) без взаємодії з масою.

■ За видом розрізняють:

газоутворювачі, які штучно вводять в масу (алюмінієва пудра, органічні порофори та газоутворювачі і т. ін.);

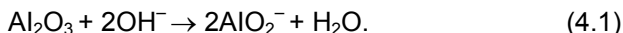
газоутворювачі, які є складовою частиною вихідних компонентів (гідратна вода).

■ За температурою газоутворення та сплучення спосіб газоутворення поділяється на: низькотемпературний (температура процесу до 100 °С), середньотемпературний (200...400 °С), і високотемпературний (вище 800 °С).

Використовують декілька типів органічних і неорганічних газоутворювачів, поділяючи їх за агрегатним станом, хімічною природою та механізмом газоутворення. Найбільш поширена і широко використовується група твердих спінюючих речовин.

В даний час найбільш розповсюджений низькотемпературний газоутворювач — алюмінієва пудра. Вона представляє собою тонкодиспергований порошок алюмінію, який має форму пелюстків з середнім діаметром біля 20...50 і товщиною 1...3 мкм. Кожна частина алюмінію покрита тонкою оболонкою стеарину, що надає пудрі гідрофобність. В результаті пудра набуває високо покривельної властивості (вона призначена для лакофарбової промисловості).

Уже в процесі помелу кожна частинка алюмінію окислюється і покривається щільною окисною плівкою. Сильні луги і кислоти при середній концентрації розчиняють захисну окисну плівку на поверхні алюмінію:



З метою захисту частинок алюмінію від окислення процес помелу ведуть в парах стеаратів, які осаджуються на поверхні часток. Перед використанням алюмінієвої пудри ці оболонки змивають у розчинах ПАР.

З безоболонкової поверхні алюміній переходить в розчин в вигляді іонів Al^{3+} , при цьому виділяються три моля водню:



Таким чином, 1 г Al виділяє 1250 см³ водню, а при температурі оптимального газовиділення (50 °С) — майже 1500 см³. Алюмінієву

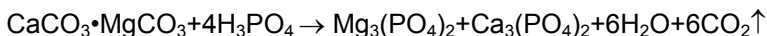
пудру використовують в виробництві ніздрюватого бетону та ряду теплоізоляційних пластмас.

Спучування у процесі формування — фізико-хімічний процес, при якому пори утворюються в масі газами, що виділяються внаслідок хімічних реакцій взаємодії або розкладу пороутворюючих добавок, що вводяться. Процеси пороутворення в результаті спучування можна розподілити за типами реакції газоутворення:

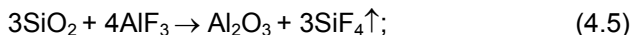
- між традиційно вихідними карбонатами та кислотами. При взаємодії доломіту й сірчаної кислоти виділяється вуглекислий газ:



- між доломітом і ортофосфорною кислотою відбувається хімічна реакція:



- між основами, кислотами та солями. Ця реакція не дістала широкого розповсюдження, проте при виробництві високотемпературних ізоляційних матеріалів – високоглиноземистих і корундових вогнетривів із суміші гідратів окису алюмінію чи алюмосилікатів у поєднанні з AlF_3 їхня пористість сягала 90%. Спучування відбувається внаслідок випаровування SiF_4 у процесі реакції:



- між металами (Al, Ca, Mg, Zn та ін.), кислотами й основами з виділенням водню, наприклад:



- між органічними сполуками, наприклад, при введенні до маси тонкоподрібненого глинозему суміші толуїлендіізоціанату або гліцеринового поліефіру адипінової кислоти.

Основна перевага цього методу — можливість випускати матеріали з пористістю (40...90)% і відносно високою міцністю. Недоліки: високий вміст води в масі (38...100)% та знижена термостійкість.

Піноутворення у процесі формування виробів — введення у шлікер (підібрана суміш) піноутворювача або змішування шлікеру з уже готовою піною.

Недоліки цього методу є наслідком основних властивостей пін: кратність (вихід піни), недостатня стійкість до руйнування протягом технологічного процесу, синерезис — відокремлення рідкої фази, структурна в'язкість (несуча здатність), що залежать від виду піноутворювача, температури, тривалості та інтенсивності перемішування. Основні дефекти піноутворення: недостатня

текучість піномаси, наслідком чого може бути випуск виробів із неоднорідною структурою, тріщинами й порожнинами (зовнішніми й внутрішніми), висока вологість піномаси відносно до сухих компонентів (до 200%), висока об'ємна усадка при висиханні (близько 70...75%), неможливість прискорення процесу сушки матеріалу.

Повітровтягування — введення до складу матеріалу при його виготовленні втягуючих повітря добавок, що є зазвичай поверхнево-активними речовинами — довголанцюжковими молекулами з полярними групами, здатними адсорбуватися на поверхні розділу фаз.

Повітровтягуючі добавки можуть бути простими сполуками (наприклад, натрієві солі жирних або алкіларилсульфонових кислот), але можуть мати й складнішу будову.

Основними компонентами застосовуваних повітровтягуючих добавок найчастіше є: солі, що одержують із деревної смоли; синтетичні миючі засоби — алкіларилсульфонати; деякі солі нафтових кислот; продукти переробки талового масла та ін. Як повітровтягуюча добавка може використовуватися також модифікований кремнезем (метилсилільні групи).

Повітровтягуючі добавки за принципом своєї дії також є піноутворювачами. Вони створюють у структурі матеріалу рівномірну систему пор шляхом розподілу оптимальної кількості повітряних замкнутих бульбашок певного розміру. Система рівномірного розподілу замкнутих повітряних пор у тілі матеріалу сприяє й релаксації внутрішніх напруг.

Фракційний підбір складу — утворення пористості відбувається за рахунок відповідного підбору фракційного (гранулометричного) складу компонентів. Цей спосіб має підпорядковане значення при використанні інших заповнювачів проте найбільш поширений при виготовленні віброкерамічних виробів.

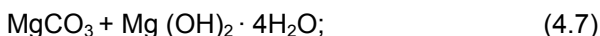
Введення пористих заповнювачів дозволяє отримати відповідну пористість матеріалу за рахунок пористої структури добавок, що вводяться, найчастіше — поропластів, а також спученого перліту, вермикуліту, керамзиту тощо. При цьому структура основного (первинного) матеріалу забезпечує необхідну міцність виробу в цілому. Цей спосіб широко розповсюджений у виробництві композиційних теплоізоляційних та акустичних матеріалів, а також конструктивних матеріалів аналогічного призначення.

Введення вигоряючих добавок (лігніну, тирси, коксу, бісерного полістиролу, термоантрациту та ін.) має досить широке розповсюдження. Верхня межа пористості у цьому випадку становить (60...65)%. У процесі одержання формувальної маси суспензію змішують із твердими вигоряючими органічними

добавками. При випалюванні керамічних мас із вигоряючими добавками відбуваються три різні процеси: спочатку згоряють леткі речовини, що виділяються з добавок при піролізі (тепловому розкладі), після цього при взаємодії з киснем, що міститься в газах і кисневих окисах матеріалу, вигоряють добавки і, нарешті, вигоряє вуглець коксового складу добавки.

Спучування водовміщуючих вулканічних порід відбувається в результаті пароутворення при нагріванні вихідного матеріалу. В основі способу — здатність гірських порід (вулканічних стекел, вермикулітів і гідрослюд) збільшуватися в об'ємі при їх швидкому нагріванні до високих температур. При цьому відбувається процес дегідратації перліту, обсидіану та інших вулканічних стекел, що містять воду, яка важко випаровується. При спучуванні необхідно забезпечити збіг утворення та виділення в матеріалі газів із піропластичним станом нагрітої до розм'якшення породи. Спучування вермикуліту визначається виділенням міжпакетної (що міститься між пакетами) слюди, цеолітної (яка міститься у вигляді твердого розчину) та гіроскопічної (що механічно утримується на поверхні зерен) води. Пари, що виділяються, розсувають слюдяні пластинки, збільшуючи об'єм матеріалу більш ніж у 15 разів.

Спосіб перекристалізації хімічних солей застосовується під час виробництва совеліту. Він включає такі хімічні реакції: розклад доломіту та дисоціація вуглекислого магнію; гідратація окису кальцію, що утворився внаслідок перших реакцій; карбонізації окису кальцію та окису магнію з одержанням карбонату Ca і тригідрату карбонату Mg; його перекристалізації (фізико-хімічний процес) в основну сіль:



При нагріванні гелів при високій температурі — одержують аерогелі в результаті зневоднення кремнієвих солей, замінючи воду хімічно інертною до гелю рідиною, наприклад, етиловим спиртом із подальшим нагріванням гелю до температури випаровування даної рідини.

Поризація з одночасним армуванням керамічних і вогнетривких мас волокном, у тому числі й високотемпературним, використовується при виробництві матеріалів спеціального призначення, насамперед тих, що мають високу термостійкість. Найбільш поширені композиції з високотемпературної неорганічної вати (базальтової, каолінової тощо).

В основі використання способу підвищеного водотвердого відношення лежить фізичний процес випаровування введеного у формувальну масу великого об'єму води, внаслідок чого підвищується пористість матеріалу. Найчастіше цей спосіб

реалізують при формуванні теплоізоляційних та акустичних матеріалів із рідких мас (гідромас). При цьому значна частина введеної води видаляється гравітаційними силами — центрифугуванням, віджиманням або вакуумуванням, а решта випаровується при нагріванні.

Прикладом використання цього способу є мікропорит, пористість якого (80...85)% за об'ємом створюється введенням відповідної кількості води до шихти та додаванням у шлам (3...5)% за масою рідкого скла. Мікропорит одержують за допомогою автоклавної обробки та сушіння виробів. Основні недоліки мікропориту — відкриті пори, високе водопоглинання та низька морозостійкість.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Яке основне призначення тепло- та звукоізоляційних матеріалів і виробів?
2. Назвіть види передачі тепла в будівельних конструкціях.
3. Дайте визначення звукоізоляційних та звукобірних акустичних матеріалів.
4. Порівняйте нормативний коефіцієнт звукоізоляції стін $R'w$, виконаних з різних будівельних матеріалів.
5. Назвіть основні ознаки тепло — та звукоізоляційних матеріалів і виробів.
6. Який вплив на ізолюючі властивості матеріалу справляє пористість?
7. Як поділяють теплоізоляційні матеріали за густиною (густиною)?
8. Як динамічний модуль пружності ЕД пов'язаний з ефективністю звукоізолюючих властивостей?
9. Як визначити товщину теплоізоляційного матеріалу за допомогою коефіцієнта теплопровідності?
10. Наведіть приклади прийнятних рівней шуму в промислових і житлових приміщеннях.
11. Чим відрізняється повітряний шум від ударного?
12. Як вологість і температура впливають на теплопровідність будівельних матеріалів?
13. Охарактеризуйте поняття "Густина" теплоізоляційних та акустичних матеріалів і виробів.
14. Чому теплоізоляційні властивості будівельних матеріалів дуже залежать від водопоглинання?
15. Наведіть способи отримання пористої структури матеріалу.

Рекомендована навчально-методична література

1. Про Стратегію сталого розвитку "Україна – 2020". Указ Президента України від 12.01.2015 № 5/2015

2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". Розпорядження КМУ від 18.08.2017 № 605-р
3. Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд. Постанова КМУ від 20.12.2006 № 1764
4. Енергозбереження у житловому фонді. Проблеми, практика перспективи. Довідник, НДІ проектреконструкція, Київ, 2006.-138 с.
5. Строительные материалы. Учебно-справочное пособие / под ред. Г.А.Айрапетова, Г.В.Несветаева. — Ростов-на-Дону: изд.-во Феникс; 2004.А608 с.
6. Бутт Л.М., Василяускас, Вайткус И. и др. Справочник по производству теплоизоляционных материалов. Москва, Стройиздат, 1975. -432 с.
7. Горлов О.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов, Москва, Стройиздат, 1980.-398 с.
8. Горяйнов К. Э., Горяйнова С. К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. Москва, Стройиздат, 1982 — 376 с.
9. Гузман И. Я. Высокоогнеупорная пористая керамика. М., Металлургия,1971) — 193 с.
10. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ: ТОВ УВПК "Екс ОБ", 2004. — 704 с.
11. Рунова В.Ф., Гоц В.І., Гелевера О.Г., Константиновский О.П., Носовский Ю.Л., Піпа В.В. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Підручник. — 3-є вид. — К. : Основа, 2017. — 528 с., 179 іл., 86 табл.
12. Чистяков В.В., Петропавлівський О.М., Гасан Ю.Т. Сучасні теплоізоляційні матеріали. Конспект лекцій. — Київ, КНУБА, 2007 — 32с.
13. ДБН В. 2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель"
14. DIN 4108 "Теплоізоляція у висотному будівництві"
15. DIN 4109 "Звукоізоляція у надземному будівництві. Вимоги та вказівки".
16. DIN 52210 "Акустичні випробування в будівництві. Ізоляція від повітряного та ударного шуму".

РОЗДІЛ II.

КЕРАМІЧНІ ІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

Керамічні ізоляційні матеріали та вироби виготовляють зі щільних або поризованих керамічних мас із уведенням у них пористих заповнювачів і без них.

Промисловістю будівельних матеріалів випускається широка номенклатура керамічних матеріалів, що різняться за будовою, властивостями й галуззю застосування. Основне призначення цих матеріалів — теплоізоляційний захист елементів обладнання та різноманітних конструкцій.

§5. Види, властивості та галузі застосування керамічних ізоляційних матеріалів

Залежно від вихідної сировини найпоширеніші керамічні ізоляційні матеріали поділяються на діатомітові (трепельні), перліто- і вермикулітокерамічні, шамотні, керамоволокнисті. Сировина та спосіб одержання цих матеріалів значною мірою обумовлюють їхні властивості. Основні характеристики найбільш розповсюджених керамічних матеріалів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Основні властивості керамічних ізоляційних матеріалів

Матеріали (вироби)	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стисненні, МПа, не менш ніж	Теплопровідність, Вт/(м·К), при температурі, °С	
			50	350
Діатомітові випалювальні з вигоряючою добавкою: Д-500 Д-600 Т-600 Т-700	421...525 526...630 526...630 631...735	0,6 0,8 0,8 1,0	0,116 0,14 0,14 0,175	0,186 0,21 0,21 0,270
Піодіатомітові випалювальні	365...420	0,6...0,8	0,9...0,99	0,13...0,14
Перлітокерамічні («перліталь»)	200...300	0,3...0,5	0,065	—
Керамоперліт	200...400	0,5...1,0	0,07	0,087
Вібровермикуліто-керамічні	350...420	0,2...0,3 (при вигині)	0,062	0,09
Ультралековаговик ШЛБ-0,4	400	0,8...1,2	0,13	0,15
Пінолековаговик ШЛБ-0,8	800	2...2,5	—	0,545
Керамвол зі вмістом керамічного волокна близько 70 %	700...800	7...9	При 600°С 0,13...0,186	
Керамоперлітофосфатні	250...400	0,5...1,0	0,07	0,09

Ці матеріали використовуються для теплової ізоляції та теплового захисту печей, топків, трубопроводів й іншого теплотехнічного устаткування, що працює при температурах до 1000 °С, з метою інтенсифікації технологічних процесів, енерго- та ресурсозбереження. Для створення пористої структури застосовують методи, описані вище: підвищений вміст водизамішування, фракційний підбір складу, введення вигоряючих добавок, спучування та спінювання в процесі формування, а також поризація з одночасним армуванням (для підвищення еластичності й міцності ізолюючого матеріалу).

§6. Основи виробництва керамічних ізоляційних матеріалів

Основним фізичним процесом, що завершує одержання керамічних виробів, є спікання.

Спікання — це здатність складових компонентів керамічних мас (наприклад, глини) у результаті теплового впливу ущільнюватися до стану каменеподібного тіла.

Технологічну операцію випалу умовно поділяють на чотири стадії: підігрів до 200 °С і досушування (видалення з глини фізичної води); далі нагрівання до 700 °С (зазвичай димовими газами) і видалення із глини хімічно зв'язаної води; випалювання («зварювання») — нагрівання керамічного тіла до 980 °С та його витримка (дозрівання) — на цьому етапі й виникає спікання; потім охолодження – повільне до 500 °С, після чого швидко — до 50 °С.

Протягом усієї цієї операції у вихідному матеріалі (глині) відбуваються такі основні фізико-хімічні процеси:

- випаровування гігроскопічної води із глинистих мінералів;
- окислення органічних домішок і добавок;
- дегідратація з виділенням кристалізаційної вологи;
- аморфізація глинистих порід;
- декарбонізація та десульфурізація;
- відновлення й окислювання залізистих, марганцевистих та інших окисів залежно від організації процесу;
- утворення нових сполук як наслідок проходження реакцій у твердій фазі й поліморфного переходу з однієї модифікації в іншу;
- рідкофазні реакції та утворення склоподібного розплаву;
- виникнення нових кристалічних фаз.

У ході рідинного спікання частки твердих компонентів рідкої фази агрегуються та склеюються. При цьому можлива хімічна взаємодія між рідкою та твердою фазами. У результаті спікання випалюваний матеріал ущільнюється зі зменшенням відкритої пористості. При

спіканні за відсутності рідкої фази ущільнення сформованого, але не випаленого матеріалу, що складається з окремих, розділених порами, зерен, відбувається переважно внаслідок дифузійного взаємопроникнення речовини.

Відомі також процеси організації спікання в результаті випаровування, конденсації та пластичної деформації.

При цьому процес спікання в рідкій фазі є найважливішим в операції випалювання багатьох керамічних і вогнетривких матеріалів. Характерними ознаками процесу є в'язкий і пластичний перебіг рідкої фази, а також дифузія іонів та іонних комплексів із твердої фази в рідку. Зміна розміру твердих часток з 10 до 1 мкм досягається за рахунок десятиразового збільшення швидкості спікання. Неабияку роль у ряді випадків відіграє також в'язкість рідкої фази, що утворюється.

Так, взаємодія Al_2O_3 з CaO краще проходить у більш в'язкому розчині, ніж з MgO , коли розплав має меншу в'язкість.

Швидкість ущільнення керамічного тіла може бути підвищена завдяки добору компонентів (складу) так, щоб рідка фаза, яка утворюється при спіканні (розплав), мала б меншу в'язкість.

Рідка фаза не просто склеює зерна компонентів, але розчиняє при цьому, хоча й повільно, більш тугоплавкі компоненти, у свою чергу, збагачуючись іонами, що дифундують із них.

Процеси твердофазового та рідкофазового спікання взаємопов'язані: перший переходить у другий з підвищенням температурної характеристики технологічного процесу.

§7. Керамічні діатомітові вироби

Діатомітові вироби виготовляються шляхом формування, сушіння й випалювання вихідної маси з діатомітів або трепелів з додаванням пороутворюючих добавок (вигоряючих чи піноутворюючих).

7.1. Сировинні матеріали

Діатоміти та трепели за походженням відносять до осадових порід. У них міститься (мас. %): SiO_2 — (74,1...92,5); Al_2O_3 — (1,5...11,3); Fe_2O_3 — (0,4...5,5); CaO — (0,52...2,1); MgO — (0,2...1); органічних домішок — (4,3...10).

Діатоміти складаються здебільшого з панцирів діатомових водоростей, частково — зі скелетів викопних радіолярій і губок; у деяких видах у їхньому складі наявні домішки — тонкодисперсні глини, глауконіт і кварц.

Трепели являють собою дуже тонкі зерна (0,005...0,02 мм) аморфного кремнезему неорганогенного вулканічного походження у вигляді природних гідросилікатів, двоокису кремнію, опалу або халцедону (останні два мають загальну формулу $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ і розмір часток 2,5...5 мкм) та незначної кількості кістяків діатомей, спікулій, губок і черепашок радіолярій. Вони містять домішки глини, окисли заліза, на дотик ніжні й легко розтираються між пальцями.

Глинами називають дрібноуламкову осадову породу, утворену з часток мінералів розміром 0,01...1 мкм, які складаються зазвичай із гідроалюмосилікатів і супровідних домішок інших мінералів (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1

Хімічний склад глин деяких родовищ

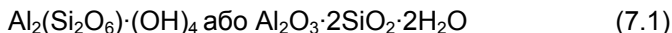
Родовище	Хімічний склад, % за масою									Вогнетривкість, °С	Співання до стану, при якому водопоглинання становить 2%, °С
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Втрати при прожарюванні		
Вогнетривкі та тугоплавкі глини											
Дружковське ДН-1	51,4	1,25	34,1 7	1,32	0,26	0,41	0,33	1,53	9,35	1690-1710	1200
Часов-Ярське	51-53	0,8-1,4	30,5-33,3	0,9-1,2	0,5-2,5	0,2-0,8	2,2-2,7	0,6	8. 1-16.7	1705-1670	1150
Легкоплавкі глини											
Одинцовське (суглинок)	75,7	—	8,7	6,5	0,5	1,4	—	—	3,3	1180	1120
Спондилівське	51,3	0,6	12,3	2,0	15,8	1,1	2	—	15,4	1140	1120
Каоліни											
Просьяновське (збагачені)	46,07	0,25	37,8	0,3	0,15	0,32	0,23	0,1	13,3	1770	Понад 1400
Глуховецьке (збагачені)	46	0,3	31,3	0,3	0,13	Сліди 0,2	Сліди 0,1	Сліди	13,3	1780	Понад 1300

Глинисті мінерали складені з електрично нейтральних алюмосилікатних шарів, спроможних зміщуватися один щодо іншого. Ця властивість зумовлює їхню м'якість, відчутну «жирність» і здатність розколюватися за площинами спайних шарів. Хоча механізм виникнення глин ще повністю не вивчений, проте відомо, що всі глинисті матеріали становлять вторинні геологічні утворення.

Глиняста частина глин має частки менші за 2 мкм — як більш дисперсна складова глинистої породи. У складі глин існує також неглиняста частина — більш грубодисперсна, а також органічний матеріал, обмінні іони та водорозчинні солі.

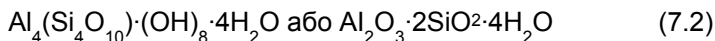
Основні мінерали у глинах — гідроалюмосилікати: каолінит, галуазит, монтморилоніт, гідрослюди (у тому числі флогопіт), алофан тощо.

Каолінит — в основному складається за масою з Al_2O_3 — 39,5%; SiO_2 — 46,5%; H_2O — 14%. Його формула:



Він утворюється в результаті вивітрювання вивержених і мета2 морфічних гірських порід, багатих на алюмосилікати (польові шпати, слюди, цеоліти), тобто гранітів, гнейсів, кварцових порфірів та інших порід, що руйнуються під дією води й вуглекислоти.

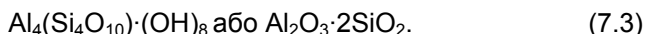
Галуазити — група глинистих мінералів, до якої належать галуазит, мета2 і ферогалуазит. За хімічним складом він має таке ж співвідношення (окис алюмінію — двоокис кремнію), як і каолінит, але води в ньому майже вдвічі більше. Його формула:



Хімічний склад галуазиту, % за масою: Al_2O_3 — 34,7; SiO_2 — 40,8; H_2O — 24,5.

Галуазит має вигляд трубчастих утворень діаметром 0,04...0,2 мкм, довжиною від 0,2 до 2...4 мкм, із товщиною стінок близько $2 \cdot 10^{-8}$ см. У природі галуазит зустрічається у вигляді невеликих скупчень і лінз. Твердість його 1...2, густина — 2...2,2 г/см³.

Метагалуазит має формулу:



Ферогалуазит утворюється при заміщенні в метагалуазиті 6...8 % Al_2O_3 на Fe_2O_3 . Як домішки в мінералах наявні: Fe^{3+} , Cr^{3+} ; Mg^{2+} , Fe^{2+} та ін.

Монтморилоніт містить у чистому вигляді, (мас. %): Al_2O_3 — (11...22); SiO_2 — (48...50); Fe_2O_3 — понад 5; MgO — (4...9); CaO — понад 0,8...3,5; H_2O — (12...24), його формула:

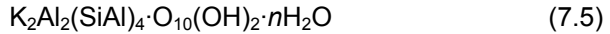


Залежно від тиску водяних парів у навколишньому середовищі через особливість структури мінералу вміст води в ньому коливається. Монтморилоніт належить до мінералів із тришаровим типом решітки. Розмір окремих часток монтморилоніту — близько 0,002 мкм, він входить до складу багатьох глин і ґрунтів та є основним мінералом у бентонітах.

При частковій заміні в монтморилоніті Al на Na утворюється бейделіт.

Гідрослюди — проміжні сполуки між мінералами каолінітової групи та слюдами, вони є продуктом неповної каолінізації останніх.

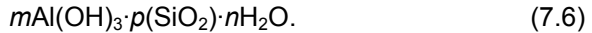
До гідрослюд зараховують *монотерміт* та *ліліт*, які мають загальну формулу:



і містять (мас. %): K_2O — (2...6); Al_2O_3 — (25...33); SiO_2 — (50...55);

H_2O — (8...9). Монотерміт кристалізується у вигляді тонких лусочок діаметром 0,1...0,3 мкм і завтовшки близько $30 \cdot 10^{29}$ см. Ліліт складається з невиразних лусочок, що групуються в агрегати.

Алофан має загальну формулу:



Хімічний склад, що містить (у мас. %): Al_2O_3 — (23,5...41,6); SiO_2 — (21,4...39,1); H_2O — (39...43,9).

Алофан – єдиний представник чисто аморфних мінералів, оскільки в ньому обидва структурні елементи – алюмогідроксильний і кремнегідроксильно-кисневий – розміщені безладно, асиметрично. Мінерали алофанової групи є типовими твердими псевдорозчинами, продуктами спільної коагуляції гелів Al_2O_3 та SiO_2 , а не хімічними сполуками. Алофан має вигляд склоподібної маси із твердістю 3, густиною 1,85...1,89 г/см³. Досить поширений як складова частина всіх глин.

§8. Виробництво теплоізоляційних керамічних виробів на основі діатоміту

Технологія виготовлення теплоізоляційних діатомітових виробів ґрунтується здебільшого на способах вигоряючих органічних добавок і спінювання.

На рис. 8.1. зображена схема одержання діатомітових випалювальних виробів способом вигоряючих добавок (тирса, полімерний наповнювач).

Діатоміт і трепел видобувають відкритим способом, з кар'єрів.

Екскаваторами (2) розробляють породу (1), а потім з кар'єрів автомашинами (3) доставляють на виробництво. Тут діатоміт вивантажують у ящиківий подавач (4), звідки він надходить у дробарку (5), а далі на вальці для видалення каміння (6) та стрічковий транспортер (7). У разі значної вологості, яка перешкоджає нормальному помелу діатоміту, останній попередньо висушується в сушарці (сушильному барабані) (8), після якого відхідні гази й пари вологи видаляються через скрубєр (9) в атмосферу. Висушений діатоміт подається в дробарку (зазвичай молоткову) (10), а потім елеватором у бункер (12), куди транспортером прямує також діатоміт, котрий не потребує сушіння.

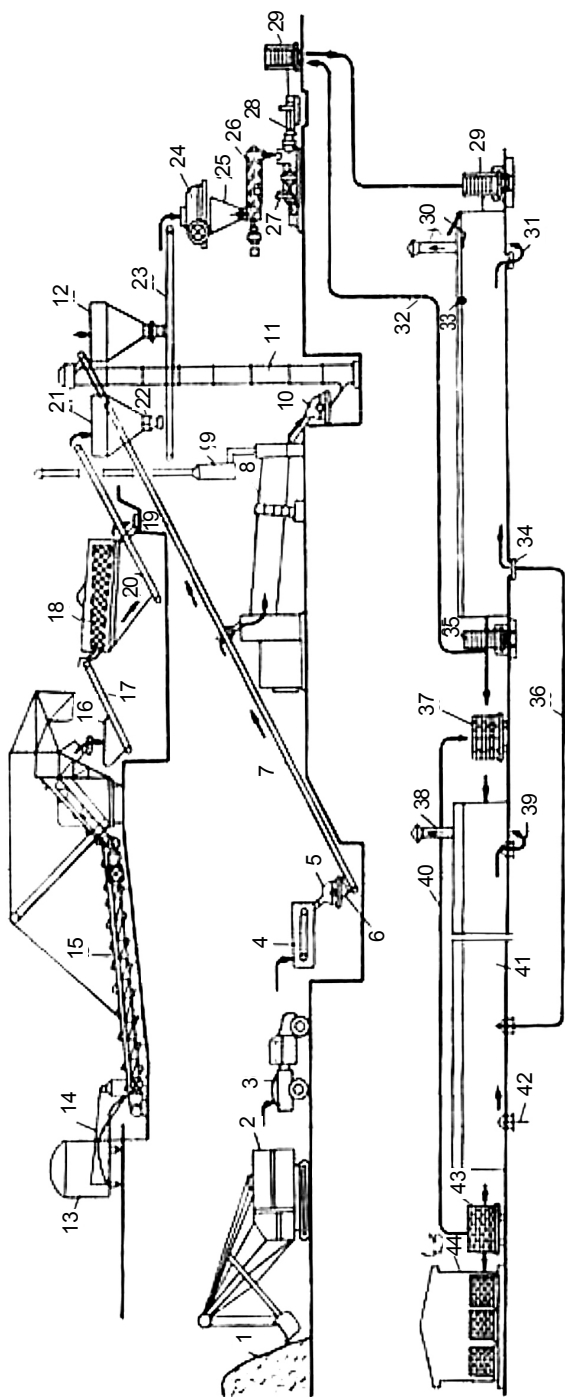


Рис. 8.1. Технологічна схема виробництва теплоізоляційних керамічних виробів на основі діатоміту

Вигоряючі органічні добавки зі складу (13) за допомогою фронтального навантажувача (14) або багатоківшевим екскаватором (15) подають в бункер (16) стрічкового транспортера, який переміщує їх до грохоту (18). Відсіяні відходи вилучають транспортером (19), а добавки, що залишилися, по транспортері (20) зсипають в бункер (21). Діатоміт з бункера (12) через тарілчатий живильник (22) подається транспортером (23) на вальці тонкого помелу (24), а звідти — у ящиківий подавач (25), куди також надходять із бункера (21) вигоряючі добавки. Звідси одержану суміш направляють або у двовальний протитоківий змішувач, або у двовальний глинозмішувач (26); тут пластичну масу зволожують та подають у стрічковий прес (27). При виході з мундштука преса брус (28) розрізають на цеглини, які складають на сушильну вагонетку (29).

Відформований у вигляді цегли чи виробу іншого профілю сирець надходить до тунельної протитоківий сушарки (30). Початкова температура димових газів у сушарці — (100...160) °С, кінцева — (40...50) °С. Після завершення процесу сушіння висушені вироби перекладають на перевантажувальному посту (35), із сушильної вагонетки на випалювальну вагонетку (37), а вагонетка, що звільнилася, повертається по колії (32) до преса.

Показники сирцю після сушіння: вологість — (10...20)%, усадка — (4...5)%.

Випалювання відбувається в тунельній печі (41) при температурі 1000 °С протягом 16...20 год.

Втрата хімічно зв'язаної води в результаті дегідратації діатоміту починається при температурі не нижчій за 500 °С, вигоряння органічних добавок — при 600 °С і вище, випал — при (800...1000) °С.

З тунельної печі відпрацьований теплоносій по газоходу (36) направляється в тунельну сушарку (30) через вхід (34). У сушарку, за потреби, додаються також димові гази з підтопків. Через вихід (31) відхідні гази викидаються через димар (30) в атмосферу.

Через вхід (42) у випалювальну піч вентилятором подається повітря, необхідне для охолодження випалених виробів, а через вихід (39) остигший надлишок відпрацьованого теплоносія трубою (38) викидається в атмосферу.

Вагонетку з випаленими діатомітовими виробами на виході з тунельної печі (43) розвантажують і рейками (40) повертають під завантаження (37). Готові вироби після обрізання (оправлення) на циркулярній пилі та упакування складають на складі готової продукції (44).

При виготовленні діатомітових виробів способом піноутворення (рис. 8.2.) діатоміт після помелу та сушіння в шахтовому млині надходить у трибарабанный пінобетонозмішувач, куди додають піноутворювач і воду для утворення шлікеру сметаноподібної консистенції зі вмістом води (50...60)%. Піна збивається 7...8 хв,

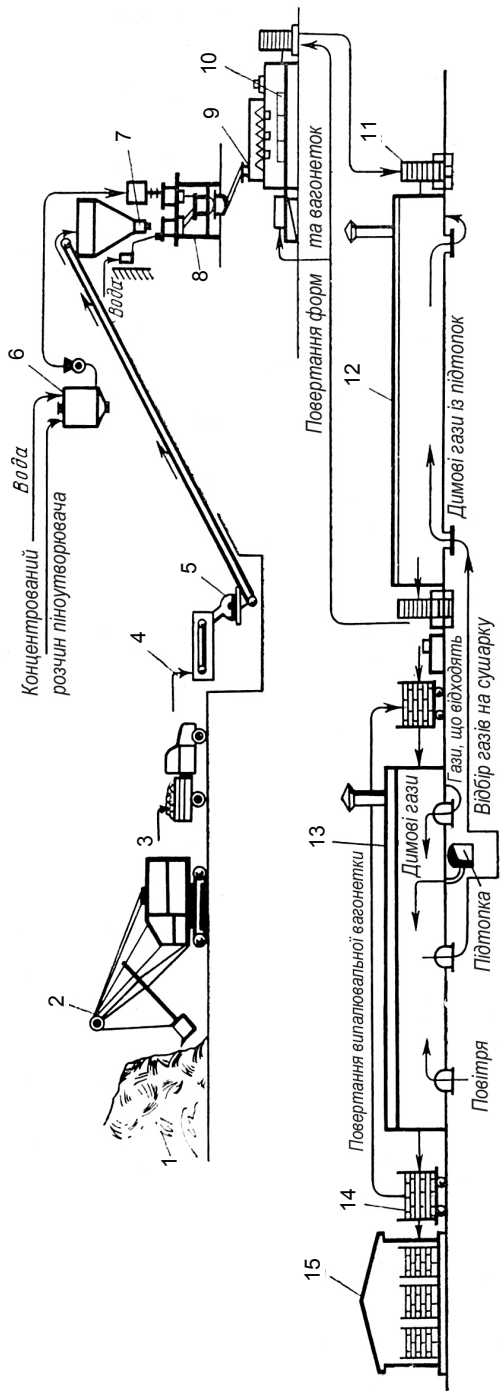


Рис. 8.2. Схема технологічного процесу виробництва пінодіатомітових виробів:

1 — кар'єр діатоміту, 2 — одноковшовий екскаватор, 3 — самоскид, 4 — ящиквий подавач, 5 — молоткова дробарка, 6 — концентраційний розчин піноутворювача, 7 — об'ємні дозатори, 8 — трибарабаний пінобетонозмішувач, 9 — гвинтовий конвейер-розподільювач, 10 — форми для заливання, 11 — вагонетки, 12 — тунельна сушарка, 13 — тунельна сушарка, 14 — вагонетка, 15 — склад готової продукції

змішування шлікеру 12...15 хв. Пінисту масу середньою густиною близько 800 кг/м^3 розливають машиною подають у металеві форми, у яких вона просушується до 15...20%-ої вологості, а потім, після розформування, сирець укладають у верхні ряди сушильної вагонетки [29]. Сушіння (48...90 год, залежно від виду виробів) і випалювання відбуваються за вищезазначеною схемою, певна річ, за винятком стадії вигорання добавок.

Слід підкреслити, що збільшення в цьому випадку тривалості сушіння пов'язане зі значними усадковими явищами в сирці, притаманними для цього способу виробництва.

§9. Виробництво спученого перліту та виробів на його основі

9.1. Спучений перліт. Класифікація та основні властивості

Спучений перліт — пористий матеріал, який отримують шляхом термічної обробки подрібнених вулканічних водовмісних порід. Після випалення спучений перліт залежно від розміру зерен розподіляється на пісок (< 5 мм) і щебінь (5...20 мм).

Спучений перлітовий пісок поділяється на рядовий — із зернами будь-яких фракцій розміром менш ніж 5 мм, крупний — із зернами фракції (1,25...5) мм, дрібний (порошок) — (0,14...1,25) мм, пудру — менш як 0,14 мм.

Спучений перлітовий щебінь ділиться на дві фракції: (5...10) мм та (10...20) мм.

Спучений перлітовий пісок застосовують як заповнювач при виготовленні теплоізоляційних виробів і бетонів, вогнестійких та ізолюючих штукатурних сумішей, а також для тепло- і звукоізолюючих засипок при робочому діапазоні температур поверхонь, що ізолюються, від (2200) до 900 °С. Перлітовий порошок і пудру використовують для засипної ізоляції замкнутих порожнин двостінних резервуарів для зберігання зріджених газів. Перлітовий щебінь застосовують як заповнювач у бетонах різного призначення.

Нормативні показники фізико-механічних властивостей спученого перліту наведені в таблиці 9.1.

Вологість готового продукту не повинна перевищувати 1,5%. Для одержання теплозвукоізоляційних виробів рекомендується використовувати перлітовий пісок густиною не вищою за 100 кг/м^3 .

Таблиця 9.1.

Основні фізико-механічні характеристики спученого перліту

Назва характеристик	Величина показників											
	Спучений пісок								Спучений щебінь			
	75	100	150	200	250	300	400	500	300	400	500	600
Густина, кг/м ³	до 75	75-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-400	400-500	до 300	300-400	400-500	500-600
Теплопровідність при 298±5К, Вт/м·К, не більш ніж	0,047	0,052	0,056	0,064	0,07	0,076	0,081	0,093	Не нормується			
Міцність при здавлюванні в циліндрі, МПа	Не нормується								0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-1,2	1,2-1,5
Водопоглинання за 1 год, мас. %, не більш ніж	Не нормується								60-75	40-50	25-30	25

9.2. Сировина для виробництва спученого перліту

Сировиною для виготовлення спученого перліту служить вулканічна порода (вулканічне скло), яка при нагріванні до досить високої температури (900...1250) °С спучується.

Залежно від рівня вмісту води й газів, які залишилися після застигання лави, розрізняють дві основні групи вулканічного скла: обсидіан (вміст води до 1%), перліт (1...6)%. Вулканічні види скла відрізняються також структурою порід.

Обсидіани — однорідна склувата порода, котра утворилася при застиганні кислої вулканічної лави, зазвичай теплих тонів з раковистим зламом. Різновиди обсидіанів часто складаються цілком з аморфної однорідної склоподібної маси або з маси із включенням зачаткових кристалічних новоутворень у вигляді окремих зародкових кристалів.

Перліти — (від франц. «les perlos» — «перли») — порода з концентричною шкаралупистою структурою зі склоподібної маси, внаслідок чого здається, що вся порода складається зі зцементованих між собою кульок з тонкими шкаралупками. Така структура перліту зумовлена тонкими концентричними тріщинами,

виникаючими при затвердненні виверженої породи, що охолоджується.

В Україні найбільш відомі родовища перліту у Закарпатській області (гора Пелікан і частково гора Ардів). Хімічний склад і структура водомістких видів скла, які видобувають на цих родовищах, зазначені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2.

Хімічний склад і структура вулканічних водомістких стекел родовищ України

Родовище	Структура	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	*в.п.п.
Гора Пелікан	Перлітова	73,82	12,82	—	0,93	0,32	1,17	—	0,06	4,08	2,26	0,2	4,76
		74,91	13,29	0,22	0,88	0,56	1,14	—	0,05	3,05	2,91	—	3,88
Гора Ардів	Фельзитова, частково перлітова	72	15	—	1,4	—	2,2	0,36	—	5,7		сліди	3,34

*в.п.п – втрати при прожарюванні.

З таблиці видно, що за хімічним складом перліт являє собою алюмосилікатний матеріал з відносно значним вмістом лугів.

Колір перліту залежить від супутніх домішок і змінюється від світло-сірого до чорного із зеленкуватим або червонястим відтінком. Густина породи коливається від 1700 до 2350 кг/м³. При нагріванні до $t_n = (850...1200) ^\circ\text{C}$ перліт розм'якшується та спучується парами води й газами, збільшуючись в об'ємі в (3...15) разів. Коефіцієнт спучування перлітів

$$K_e = \rho_1 / \rho_2 \quad (9.1)$$

дорівнює відношенню густини подрібненої породи (ρ_1) до густини готового матеріалу після спучування (ρ_2).

Для виробництва спученого перліту, який застосовується для ізоляційних матеріалів і виробів, використовують породу, коефіцієнт спучування якої не менший за 5, а температура спучування — не вища ніж 1050 °С.

Для одержання спученого перліту процес випалювання (нагрівання) належить провадити таким чином, щоб основна маса води випарувалася з початком розм'якшення породи. При повільному нагріванні вся зв'язана вода може випаруватися до переходу матеріалу в пом'якшений стан. Навпаки, за дуже швидкого нагрівання пари можуть спричинити розтріскування матеріалу й утворення крихкої структури матеріалу без істотного збільшення об'єму.

Перлітова сировина потребує перед випалом спеціальної термічної підготовки (нагрівання до температури 250...500 °С), при якій видаляється частина води, що зменшує ймовірність розтріскування зерен перліту в процесі випалювання, сприяє більш рівномірному спучуванню та поліпшує якість готового продукту. Такий процес теплової обробки називається двоступеневим.

9.3. Виробництво спученого перліту та виробів на його основі

9.3.1. Виготовлення спученого перліту

Технологія виробництва спученого перліту включає такі операції: подрібнення породи, попередня тепла обробка та спучування.

Принципова технологічна схема виробничого процесу одержання цього ізоляційного матеріалу показана на рис. 9.1.

Перлітова порода повинна зберігатися в умовах, що виключають її зволоження. Утім, вологість породи нерідко становить 12% і вище. Тому необхідне попереднє сушіння породи в сушильній установці (барабанній, з «киплячим» шаром тощо).

Висушена порода подрібнюється у дві стадії, зазвичай у шоківій і молотковій дробарці, до потрібної крупності перлітового піску (борошна, пудри) чи щебеню.

Подрібнена порода розділяється на фракції на віброситах або відповідних механічних ситах.

Для видалення частини вологи подрібнена порода подається в спеціальну піч термopідготовки (наприклад, обертову барабанну).

Випалювання (спучування) перліту відбувається зазвичай у шахтних вертикальних, чи в обертових випалювальних печах.

Спучений перлітовий пісок направляється в спеціальні бункери готової продукції.

З бункерів віддозований пісок спаковується в мішки, біг-беги або пересувні силоси та передається на склад готової продукції.

Контроль виготовлення спученого перліту в основному полягає в організації контролю теплового режиму роботи технологічного обладнання (насамперед установок сушіння та випалу), від яких залежить якість готової продукції.

Зберігають перлітові пісок і щебінь окремо за марками та фракціями в умовах, що виключають їхнє зволоження й забруднення.

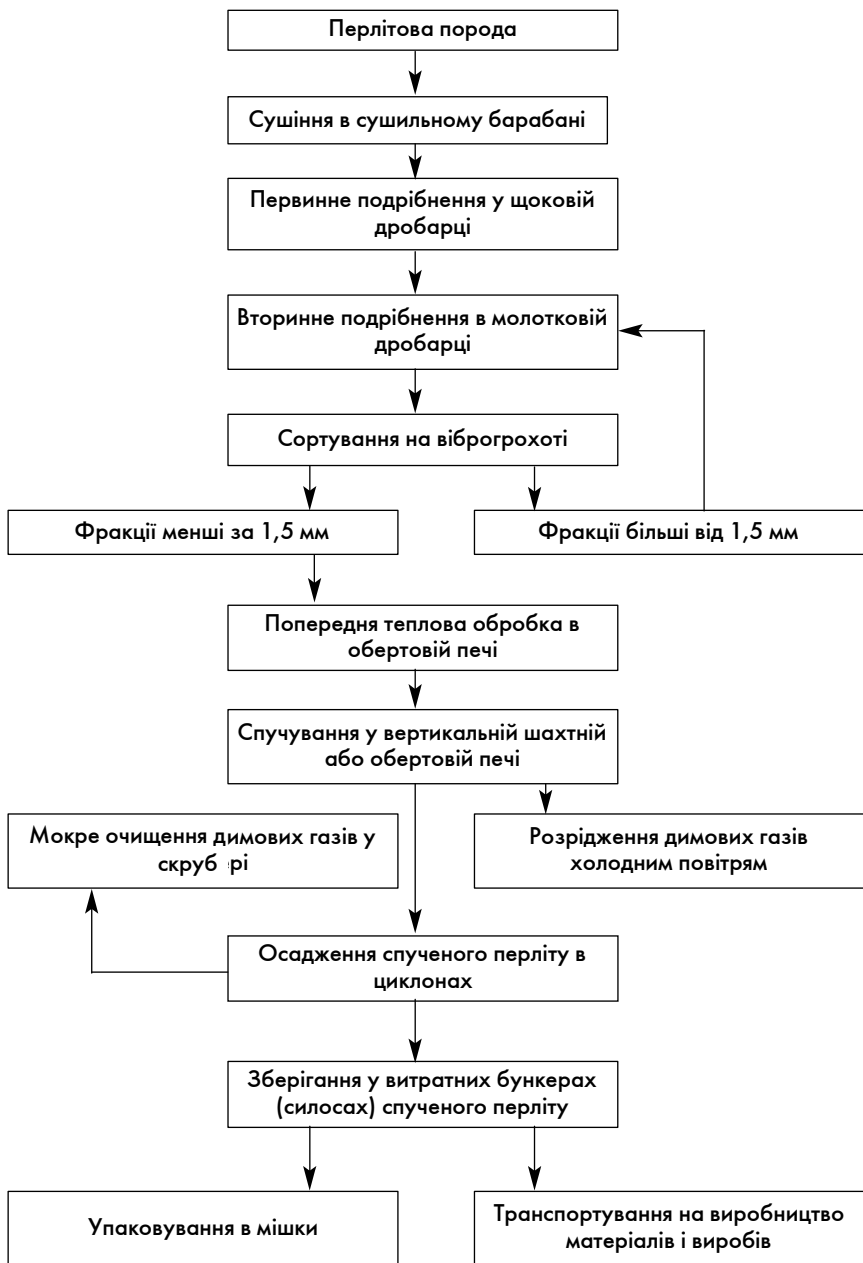


Рис. 9.1. Технологічна схема виробництва спученого перліту

9.3.2. Види ізоляційних виробів на основі спученого перліту та їхні основні властивості. Основи виробництва

Залежно від температури застосування перлітові ізоляційні матеріали та вироби можна розподілити на три основні групи:

- для умов низьких мінусових і звичайних плюсових температур — спучений перлітовий порошок і пудра (до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$), перлітобітумні вироби ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$), бітумно-перлітова маса ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$);

- для середніх плюсових температур (до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$) — перлітоцементні, перлітофосфогелеві вироби, перлітовий випалювальний легковаговик;

- для високих температур — перлітокерамічні вироби (до $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$), жаротривкий перлітобетон (до $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), керамоперлітофосфатні вироби (до $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$), перлітові ультралегковагові вогнетриви густиною до 400 кг/м^3 (до $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$), перлітові легковагові вогнетриви з $\rho = 500\text{...}800\text{ кг/м}^3$ (до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Широкого використання останнім часом набули перлітові ізоляційні штукатурки на основі цементного та гіпсового в'язучих, полімерного зв'язуючого (композиційні матеріали будівельної хімії).

До складу всіх цих ізоляційних матеріалів входять спучені перлітовий пісок, порошок (заповнювачі й наповнювачі) та різноманітні зв'язуючі (в'язучі) — органічні та мінеральні.

Перлітобітумні плити, які виготовляють зі спученого перліту, органічного зв'язуючого (бітум), глини та інших добавок, використовують для теплової ізоляції будівельних конструкцій і промислового устаткування при температурі поверхонь, що ізолюються, від $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільш широко вони застосовуються для ізоляції покрівлі промислових будівель.

Плити випускаються завдовжки 500 та 1000 мм, завширшки 500 мм і завтовшки 40, 50 та 60 мм. За густиною вони поділяються на марки 200, 225, 250 і 300.

Фізико-механічні властивості плит різних марок наведені в таблиці 9.3.

Вогнестійкість плит залежить від вмісту органічного зв'язуючого:

- важкоспалимі < 9% мас.
- важкозаймісті (10...15)% мас.

Для виробництва перлітобітумних плит застосовують спучений перліт, бітум (шляховий БНД), глину (високо- чи середньопластичну), клей карбоксиметилцелюлози (КМЦ), волокнистий наповнювач.

Таблиця 9.3.

Фізико-механічні властивості перлітобітумних плит

Найменування показників	Марка плити			
	200	225	250	300
Густина, кг/м ³	200	225	250	300
Теплопровідність (при T= 298 ±3 К), Вт/(м•К), не більш ніж	0,076	0,079	0,082	0,087
Межа міцності при вигині, МПа, не менш ніж	0,15	0,15	0,15	0,19
Міцність на стискання за 10% деформації, МПа, не менш ніж	2,5			
Вологість, мас. %, не більш як	4,0			
Водопоглинання, % об'ємн., не більш ніж	5,0			
Морозостійкість, циклів, не менш ніж	25			

Бітумно-перлітову ізолюючу масу виготовляють змішуванням слученого перлітового піску з гарячим нафтовим (БН) бітумом. Отриману масу викладають на поверхню, що ізолюється, або в спеціальні форми для ізоляційних виробів (плити, шкаралупи тощо) і ущільнюють (пресують).

Бітумно-перлітову масу широко використовують як ізоляцію сталевих труб для прокладання безканалних трубопроводів теплових мереж.

За густиною бітумно-перлітова маса поділяється на марки 350 і 500. Фізико-механічні характеристики маси наведені в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4.

Основні фізико-механічні властивості бітумно-перлітової маси для ізоляції трубопроводів

Назва характеристик	Марка плити	
	350	500
Густина, кг/м ³	350	500
Теплопровідність, Вт/мК, не менш ніж	0,11	0,115
Межа міцності, МПа, не менш ніж:		
– при стисканні	0,25	0,4
– при розтягненні	0,1	0,2
Водопоглинання за 24 год., % об'ємн.	5	3

Перлітові вироби на рідкому склі випускають двох видів — перлітофосфогелеві та перлітовий випалювальний легковаговик.

Перлітофосфогелеві вироби складаються з перлітового спученого піску (60...70% мас.) і рідкого скла (40...30% мас.). Для забезпечення рівномірного тужавіння виробів по всій товщині та зменшення їхнього водопоглинання до складу суміші вводиться також незначна кількість ортофосфорної кислоти й гідрофобізуючої добавки ГКЖ-10, ГКЖ-11 або інші — стеарати чи олеати (див. рис. 9.2.).

Вироби застосовують для вогнезахисту і теплової ізоляції будівельних конструкцій, устаткування, трубопроводів при температурах до 600 °С.

При влаштуванні гідроізолюючого покриття плити, на яких за допомогою бітуму закріплено папір, використовують для ізоляції конструкцій, обладнання та резервуарів при $80\text{ °C} \leq t \leq 60\text{ °C}$.

Вироби випускаються у вигляді плит, шкаралуп (напівциліндрів) і сегментів завдовжки — 450...1000 мм, завширшки (для плит) — 250...500 мм і внутрішнім діаметром (для шкаралуп і сегментів) — 57...426 мм, завтовшки — 40...100 мм. Фізико-механічні показники виробів наведені в таблиці 9.5.

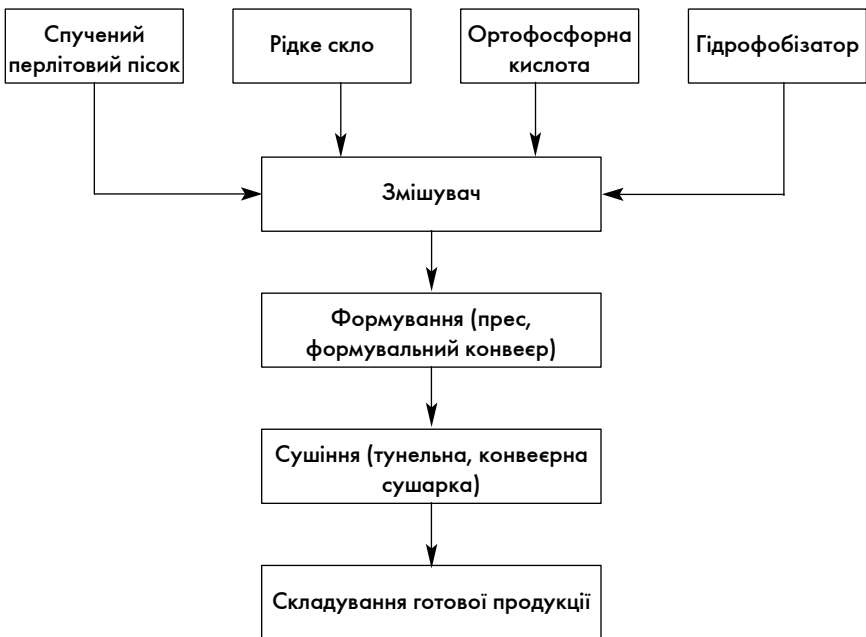


Рис. 9.2. Принципова технологічна схема виробництва ізоляційних виробів з перліту та рідкого скла

Таблиця 9.5.

Фізико-механічні властивості перлітових виробів на рідкому склі

Найменування характеристик	Марка		
	200	250	300
Густина, кг/м ³	200	250	300
Теплопровідність, Вт/мК, не менш ніж, при температурі, К: 298±5 398±5	0,064 0,088	0,076 0,09	0,082 0,094
Межа міцності, МПа, не менш як: — при стисканні — при розтягуванні	0,35 0,15	0,45 0,25	0,55 0,35

На рис. 9.2. наведено технологічну схему виробництва перлітових виробів на рідкому склі.

Перлітокерамічні вироби виготовляються із суміші спученого перлітового піску та вогнетривкої пластичної глини, узятих зазвичай у співвідношенні:

	% об'ємн.	% мас.
— спучений перлітовий пісок	90...93	50...60
— вогнетривка пластична глина	7...10	50...40

Вироби призначаються для теплової ізоляції промислового обладнання, печей, трубопроводів при температурі не більш ніж 875 °С.

За густиною перлітокерамічні вироби поділяються на марки: 200, 220, 250, 300, 350, 400. Фізико-механічні властивості виробів з керамоперліту наведені в таблиці 9.6.

Вироби випускаються у вигляді плит, цеглин, шкаралуп і сегментів.

Технологічна схема виробництва перлітокерамічних теплоізоляційних виробів зображена на рис. 9.3.

Вогнетривку пластичну глину з бункера (1) конвеєром (2) подають для подрібнення на ножову глинорізку (3), потім у вигляді стружки через витратний бункер (4) і дозатор (5) подають у змішувач (6) з водою для отримання шлікеру відносною вологістю 74...78%, котрий збирається у збірнику шлікера (7).

Глиняний шлікер через дозатор (8) направляють в змішувач (12), куди подається також перлітовий пісок (із бункера (9) через дозатор (10)). Щоб запобігти стиранню перлітових зерен під час перемішування в змішувачі в її робочому об'ємі, замість лопатей, натягнуті дротяні струни.

Таблиця 9.6.

Фізико-механічні властивості перлітокерамічних виробів

Найменування характеристик	Марка					
	200	225	250	300	350	400
Густина, кг/м ³	200	225	250	300	350	400
Теплопровідність, Вт/м•К, не менш ніж, при температурі, К: 298±5 573±5	0,063 0,088	0,067 0,119	0,076 0,122	0,081 0,128	0,093 0,140	0,105 0,151
Межа міцності при стисканні, МПа, не менш як	0,25	0,3	0,35	0,5	0,7	1,0
Лінійна температурна усадка при 875°С, %, не більш ніж	2,5		2,0			

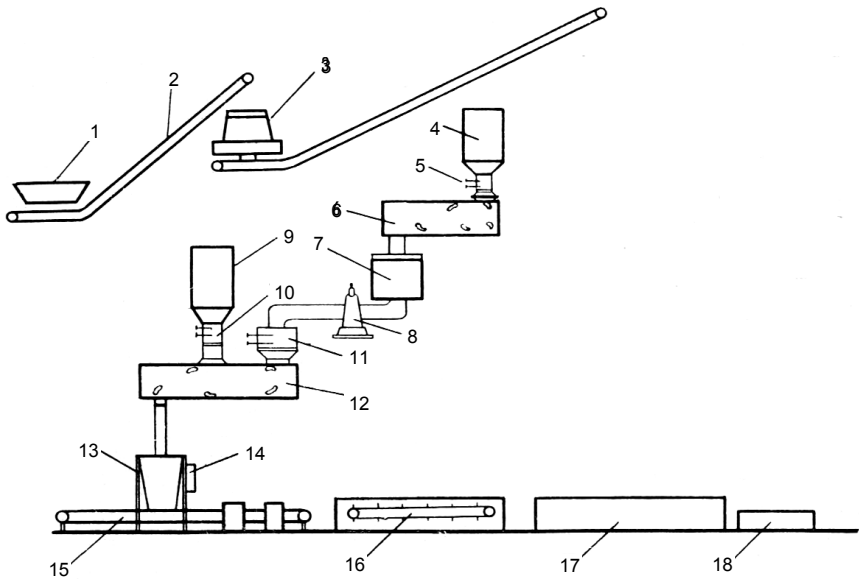


Рис. 9.3. Технологічна схема виготовлення перлітокерамічних теплоізоляційних виробів: 1— приймальний бункер для глини, 2 — конвеєр, 3 — ножова глинорізка (стругаюча), 4 — витратний бункер, 5 — дозатор для глини, 6, 12 — мішалки, 7 — збірник глиняного шлікеру, 8 — насос, 9 — витратний бункер для слученого перліту, 10 — дозатор для слученого перліту, 11 — дозатор для глиняного шлікеру, 13 — розподільний бункер, 14 — вібратор, 15 — формувальний конвеєр, 16 — сушарка, 17 — піч для випалу, 18 — склад готової продукції

Вологість формувальної гідромаси складає 63...65% (при використанні методу сухого пресування 35...40%).

Гідромаса через бункер (13) і вібратор (14) подається на формуючий конвеєр (15) або у прес (при напівсухому пресуванні). Відформовані плити просушуються в тунельних сушарках (16) за певним режимом:

- підняття температури до 75...80 °С зі швидкістю не більш ніж 5 °С/год протягом 9 год;
- далі до $t = 150...170$ °С зі швидкістю 8 °С/год;
- загальний час сушіння становить 20...25 год.

Залишкова вологість сирцю не повинна перевищувати 3%, інакше знижується його міцність.

Висушені вироби випалюють в тунельній печі (17) при температурі 850...900 °С. Температуру у печі піднімають до 300 °С зі швидкістю 100 °С/год і далі, від 300 до 900 °С, — зі швидкістю 200 °С/год. При максимальній температурі вироби витримують протягом 2...3 год. Потім рівномірне зниження температури до 400 °С відбувається зі швидкістю 100 °С/год. Подальше охолодження може відбуватися і з більшою швидкістю. Загальна тривалість процесу випалу становить 20...26 год.

При формуванні з напівсухої маси (відносна вологість близько 40%) сушіння та випал виробів можуть бути організовані в одній печі за рахунок подовження зони підігрівання.

За такою технологічною схемою виробляються, наприклад, легковагові вогнетривкі перлітошамотні вироби, які складаються зі спученого перлітового піску (3...13%), вогнетривкої глини (16%) та шамоту (71...81%).

Основні показники перлітошамотних виробів залежно від марки наведені в таблиці 9.7.

Керамоперлітові вироби (керамоперліт) за способом НДІБМВ (Київ) виробляють на основі спученого перлітового піску та меленої глини. Використовується перлітовий пісок з насипною густиною 70...150 і вмістом фракції (% мас.): 0,5...1 мм — не більш ніж 25; 0,2...0,5 мм — 25; менш ніж 0,2 мм — 50.

Маса складається з 50...60 частин спученого перліту та 40...50 частин молотої глини вологістю 8% і середньою густиною 1050 кг/м³, що складається з частинок розміром менш ніж 0,25 мм.

Технологічна схема виготовлення керамоперлітних виробів зображена на рис. 9.4.

Глина розмелюється в дезінтеграторі, або молотковому млині. Глиняний шлікер готується у шламбасейні (до 50...60% робочої вологості) після чого його вводять в масу за допомогою форсунки-розпилувача, дотримуючись при цьому такого порядку завантаження: перлітовий пісок — глиняний шлікер. Тривалість змішування в періодично діючому розчинозмішувачі — (40...50) с за (50...60)%-вої робочої вологості.

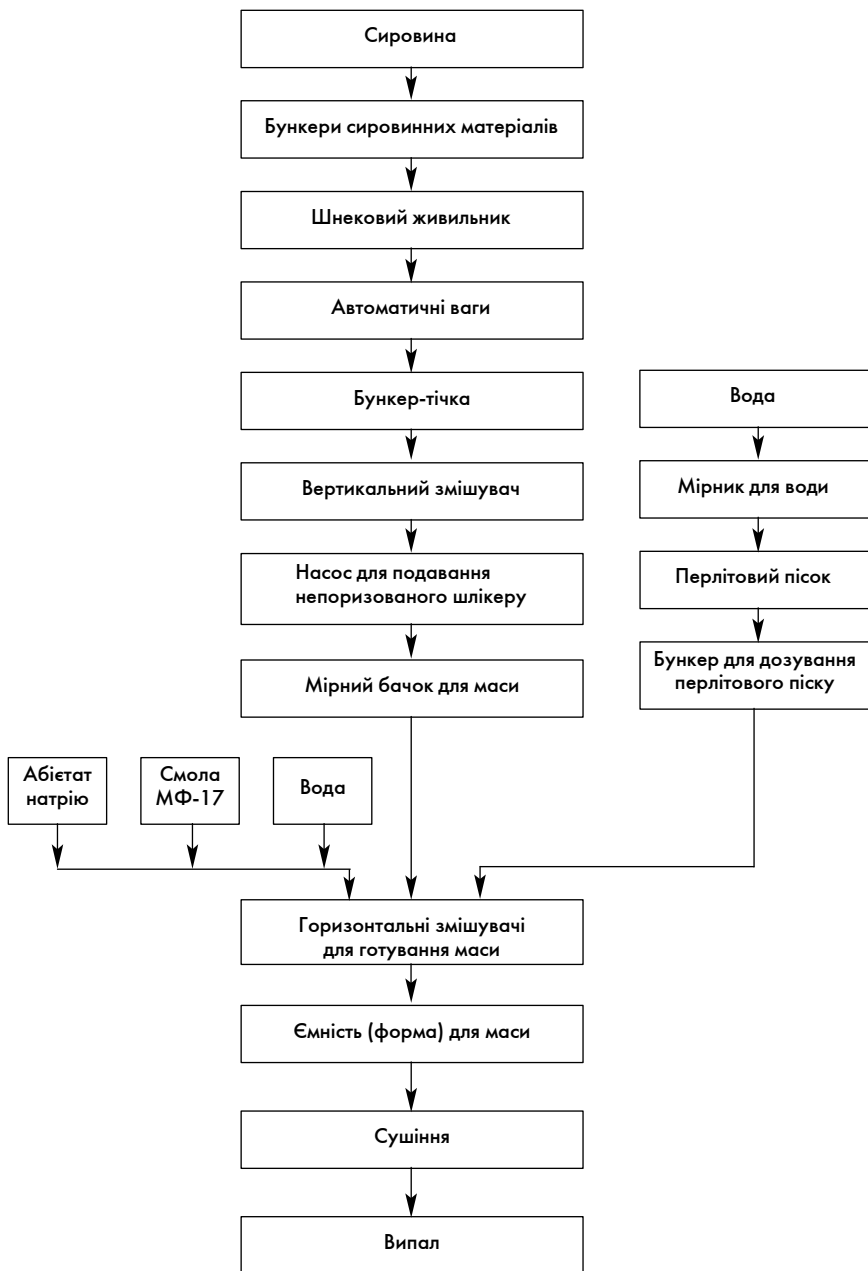


Рис. 9.4. Технологічна схема виготовлення керамоперлітових виробів

Таблиця 9.7.

Фізико-механічні властивості перлітошамотних вогнетривких виробів

Найменування характеристик	Марка				
	400	500	600	700	800
Густина, кг/м ³ , не більш ніж	400	500	600	700	800
Теплопровідність, Вт/м•К, не більш як, при температурі 873 К:	0,21	0,23	0,25	0,29	0,35
Межа міцності при стисканні, МПа, не менш ніж	1,2	1,5	2,0	2,2	3,0
Гранична температура використання, °С	1150	1200	1250	1250	1300

Вироби формують на гідравлічних або фрикційних пресах при коефіцієнті ущільнення не менш ніж 1,9. Відформовані вироби мають середню густина — (600...800) кг/м³.

Сформований сирець випалюють у тунельних печах (іноді водночас із сушінням). Початкова й кінцева температура сушіння — відповідно (70...100) і 160 °С при тривалості (4...6) год.

Температура та тривалість перебування свіжосформованих виробів у зоні підігріву — (70...100) °С і (5...8) год.; у зоні випалу — (900...950) °С та (2...3) год; у зоні охолодження — 70 °С і 5,5 год. Система установки виробів на вагонетці повинна виключати можливість безпосереднього впливу відкритого полум'я на вироби.

Густина виробів після сушіння — (300...450) кг/м³.

Величина усадки після повітряного сушіння не повинна перевищувати 0,2%; режим вогневого сушіння підбирається таким чином, щоб усадка по вертикалі не перевищувала 4,8%, а по горизонталі — 2,2%.

§10. Виробництво теплоізоляційних виробів на основі спученого керамзиту

10.1. Загальні відомості про спучений керамзит

Спучений керамзитовий ґравій — штучний легковаговий матеріал дрібнопористої будови, який отримують спучуванням при випалі глинистої сировини.

Сировиною для виробництва керамзиту можуть бути осадові (глинисті) та метаморфічні породи, наприклад, каменеподібні сланці, аргіліти. Найбільш доцільно використовувати монтморилонітові та гідрослюдисті глини, що містять не більше 30% кварцу, загальний вміст SiO₂ не повинен перевищувати 70%; Al₂O₃ — від 12 до 23%

(включно), (FeO + Fe₂O₃) — від 6 до 10 % (включно); CaO — не більше 6%; MgO — не більше 4%; сума сполук сірки в перерахуванні на SO₃ — не більше 1,5%; органічних домішок — не більше 3 %. Бажаним додатком в керамзитовій сировині є тонкодисперсні органічні сполуки в кількості 1...2 %, що підвищує його ступінь спучення.

Найважливіша вимога до сировини, яку використовують для виготовлення керамзиту, — це спучування при випалюванні.

Для характеристики цієї властивості введено коефіцієнт спучування:

$$K_C = V_K / V_C \quad (10.1)$$

де

- V_K — об'єм спученої гранули керамзиту,
- V_C — об'єм сирцевої гранули до випалювання.

Коефіцієнт спучування можна також визначити за формулою:

$$K_C = \rho_c / \rho_k \cdot (1 - \Pi_n / 100\%), \quad (10.2)$$

де

- ρ_c — густина сухої сирцевої гранули;
- ρ_k — густина спученої гранули керамзиту;
- Π_n — втрати маси сухої сирцевої гранули при прожарюванні, %.

Коефіцієнт спучування глинистої сировини, придатної для виробництва керамзиту повинен становити не менше 2. З метою коригування властивостей глинистої сировини (коефіцієнта спучування) до неї додають відповідні добавки (солярове масло, мазут, піритні недогарки). Такі самі добавки можна використовувати для зниження температури спучування.

Друга вимога до сировини пов'язана з першою і стосується легкоплавкості глинистої суміші.

Температура випалювання не повинна перевищувати 1250 °С, причому перехід значної частини найбільш дрібних глинистих частинок у рідку фазу повинен забезпечити достатнє розм'якшення та в'язкість маси.

Третя важлива вимога до сировини — необхідний інтервал спучування, який може бути розглянутий як різниця між максимально можливою температурою випалювання та температурою початку спучування даної сировини. Чим ширший інтервал спучування, тим кращі умови для спучування.

За температуру початку спучування вважають температуру, при якій отримують керамзит з густиною гранули 1000 кг/м³.

За максимально можливою температурою випалювання приймають температуру виникнення оплавлень на поверхні гранули. При виробництві керамзиту надмірне підвищення температури

призводить до оплавлення поверхні гранул та їх злипання, що зменшує вихід керамзитового гравію, а також може призвести до зупинки роботи печі випалювання.

Температура випалювання повинна бути нижчою за температуру оплавлення гранул, але чим вона нижча, тим нижчий коефіцієнт спучування і менший вихід продукції. Разом з тим необхідно враховувати практичні можливості дотримання заданого температурного режиму у печі, в тому числі стабільність температури, яка може коливатися під дією факторів, що важко регулюються або непередбачувані. Щоб забезпечити практичну можливість виробництва керамзиту, інтервал спучування сировини повинен бути не меншим 50 °С.

Для розширення температурного інтервалу спучування використовують такий технічний прийом як обпудрювання сирцевих глинистих гранул порошками вогнетривкої глини, або дрібного кварцового піску, що дозволяє підвищити температуру випалювання і запобігти оплавленню гранул.

В залежності від розміру зерен керамзит поділяють на:

Гравій фракцій (розміри зерен, мм) 5...10, 10...20, 20...40, пісок фракцій (розміри зерен, мм) $\leq 1,2$; 1,2...5.

Керамзитовий гравій у відповідності до ДСТУ БВ. 2.7 – 17 – 95 в залежності від насипної густини поділяють на марки 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700,800.

Водопоглинання керамзитового гравію протягом 1 год при повному зануренні у воду не повинно перевищувати:

Марка гравію	Водопоглинання, %
До 400	25
400...700	20
700...800	15

Морозостійкість керамзита повинна бути не меншою за 15 циклів попереминого заморожування та відтавання. При цьому після 15 циклів втрата маси в зразку не повинна перевищувати 8%.

10.2. Одержання керамзиту

Технологія виробництва керамзиту передбачає виконання наступних операцій:

- добування сировини у кар'єрі та її транспортування у глинозапасник;
- переробку вихідної сировини і отримання гранул з однорідної керамічної маси або зерен встановлених розмірів;

- термічну обробку сирцевих гранул або зерен, що включає сушіння, випалювання та охолодження готового продукту;
- сортування, а при необхідності, часткове подрібнення або розподіл готового продукту за насипною густиною;
- складування та відвантаження керамзиту.

Вибір способу переробки визначається властивостями вихідної сировини, а якість заповнювача залежить від режиму термічної обробки, при якому утворюються оптимальні умови спучування підготовлених сирцевих гранул.

Залежно від властивостей вихідної сировини застосовують один з чотирьох основних способів одержання керамзиту: пластичний, сухий, порошково-пластичний та мокрий.

Пластичний спосіб виробництва керамзиту є найбільш поширеним. За цим способом глинисту сировину перероблюють у зволоженому стані у вальцях, глинозмішувачах, а із пластичної глиняної маси з вологістю приблизно 20% формують на дірчастих вальцях сирцеві гранули, які подають у сушильний барабан. Підсушені до вологості 5% гранули надходять до обертової печі на випалювання та спучування при температурі 1150...1250 °С.

Після охолодження у спеціальній холодильній установці керамзит подається на розсіювання за фракціями та зберігання. Пластичний спосіб підготовки сировини і виготовлення керамзиту застосовують при використанні зволжених пластичних та пухких глинистих порід як однорідного, так і неоднорідного складу. При цьому способі виробництва до глинистої маси вводять добавки, що підвищують спроможність вихідної сировини до спучування.

Механізми і обладнання для переробки та грануляції сировини вибирають в кожному окремому випадку залежно від спроможності до спучування та фізико-механічних властивостей вихідної сировини: вологості, густини, в'язкості, пластичності та однорідності за складом. Якість сирцевих гранул впливає на міцність готового керамзиту, тому доцільною є ретельна переробка глинистої сировини та формування щільних гранул однакового розміру. Розмір гранули задається з урахуванням потрібної крупності керамзитового гравію та коефіцієнта спучування для даної сировини.

Гранули, що виготовлені пластичним способом, перед подачею до печі зазвичай не сортують за фракціями.

Випалювання гранульованого напівфабрикату проводиться в обертової печі при температурі 1150...1250 °С, при цьому використовують такі види палива: пил вугілля, мазут, природний газ.

Охолодження керамзиту може здійснюватися за допомогою барабанного холодильника, сателітного холодильника або шахтного. Найбільш доцільним є використання шахтного холодильника, що дозволяє досягти мінімального зносу обладнання; повільного

процесу охолодження, низької температури продукції; вказане обладнання екологічно безпечне і має відносно малі розміри. Технологічна схема переробки сировини за пластичним способом наведена на рис.10.1.



Рис. 10.1. Схема отримання керамзиту пластичним способом

Сухий спосіб використовують при наявності однорідної за складом глинистої сировини, однотипних сланців та аргілітів, які не містять шкідливих включень і характеризуються достатньо високим коефіцієнтом спучування. В цьому випадку сировину подрібнюють, розсівають за фракціями (переважно до 20...30 мм) і подають на випалювання зі спучуванням до обертової печі. Вологість сирцевого дрібняку не повинна перевищувати 9...16%.

Технологічна схема виробництва керамзиту сухим способом передбачає наступні технологічні операції: добування глинистої породи у кар'єрі; подрібнення каменеподібної або підсушеної глинистої сировини; сортування отриманого дрібняку; його випалювання зі спучуванням; охолодження керамзиту; сортування керамзиту та коригування його зернового складу; складування і видачу готової продукції (рис. 10.2.).



Рис. 10.2. Схема отримання керамзиту сухим способом

Шлікерний спосіб. Принципова технологічна схема виробництва керамзиту мокрим способом передбачає такі технологічні операції: добування глинистої сировини, приготування глинистого шламу (пульпи) необхідної консистенції; випалювання шламу зі спучуванням, охолодження, сортування та коригування зернового складу заповнювача, складування та видачу готового продукту.

Мокрий спосіб доцільно застосовувати при використанні глин, що добре набрякають з високою схильністю до спучування. При слабкій або середній спучуваності вихідну сировину збагачують за допомогою ефективних добавок. Існує декілька варіантів підготовки вихідного матеріалу для випалювання. Найчастіше сировина перероблюється звичайними методами, які прийняті у цементній промисловості: у бовтанках готують шлам, який за допомогою насосів подається до басейнів, а потім – у піч на випалювання (піч подовжена обертова великих розмірів із вбудованими пристроями). У цьому випадку грануляція відбувається тільки в обертовій печі.

Технологічна схема виробництва керамзита за мокрим способом наведено на рис. 10.3.

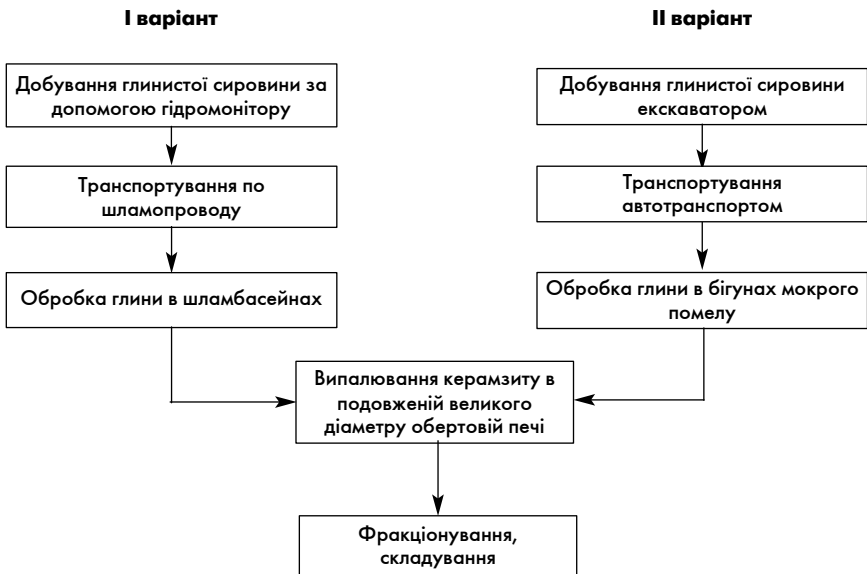


Рис. 10.3. Технологічна схема виробництва керамзиту мокрим способом

10.2.1. Випалювання керамзиту

В обертових печах час випалу керамзиту складає 30...60 хв. Умовно процеси, що відбуваються при випалі, можна розділити на чотири етапи, яким відповідають певні зони печі: сушка, або випаровування вологи, нагрівання (дегідратації, декарбонізації, окислювально-відновних реакцій); спучування, охолодження.

Спочатку сирець поступає в зону сушки, де під дією тепла димових газів, що мають температуру від 200 °С до 750 °С випаровується вільна і частково, фізично зв'язана вода сировини.

Далі висушений матеріал з температурою близько 200 °С надходить в зону підігріву. В ній відбувається складний комплекс окислювально-відновних реакцій, дегідратація та декарбонізація матеріалу. При випалі керамзиту починається процес спучування в інтервалі температур від 200 °С до 1100...1300 °С, який займає 15...30 хв. Довжина зони підігріву в обертовій печі становить до 30% загальної довжини.

Із зони підігріву матеріал поступає в зону спучення, де під дією високих температур розм'якшується та спучується за рахунок тиску зсередини газів, що утворилися в результаті окислювально-відновних реакцій, реакцій розкладення та взаємодії окремих складових глинистої породи. Довжина зони спучення складає

15...20% довжини печі. Після спучення керамзит попадає у зону отверднення (5% довжини печі).

На заводах України в основному встановлені та працюють обертові печі довжиною 40 м та діаметром 2,5, умовною потужністю 100 тис. м³ в рік. На рис. 10.4. наведено схему обертової печі для випалювання керамзиту.

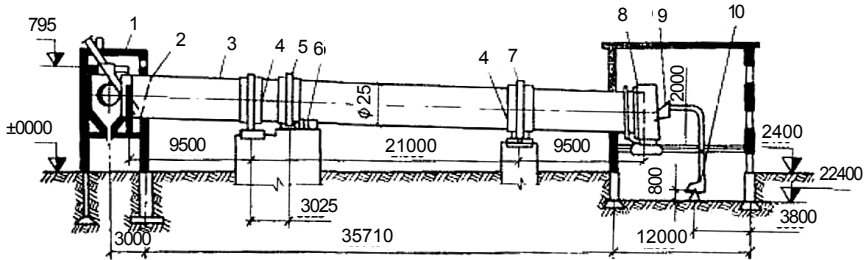


Рис. 10.4. Схема обертової печі для випалювання керамзиту довжиною 40 м і діаметром 2,5 м: 1 — пилоосаджувальна камера; 2 — завантажувальна воронка; 3 — корпус печі; 4 — роликоопори; 5 — зубчаста шестерня; 6 — привод печі; 7 — бандаж; 8 — головка печі; 9 — пальник (форсунка); 10 — дуттєвий вентилятор

10.3. Сланцепорит

За своїми властивостями та технологією отримання сланцепорит можна вважати одним з різновидів керамзиту. Сировиною для його виготовлення є криворізькі кристалічні сланці, які при високотемпературному випалюванні (температура наближається до 1280 °С) спучуються з утворенням пористого заповнювача, відомого як "сланцепорит".

Кристалічні сланці — це попутні розкривні породи залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів, які представлені в основному метаморфізованою складовою, що складається із серициту, біотиту, хлориту, кварцу та вуглецевої речовини. За хімічним складом сировина повинна відповідати вимогам до сировини на пористі заповнювачі (ДСТУ Б В.2.7-12-94): SiO₂ — 58...60; Al₂O₃ — 16...20;

(FeO+ Fe₂O₃) — 5...9; CaO не більше 3; MgO — не більше 3;

(K₂O+ Na₂O) — 2...5; органічної речовини — 1...2%.

Хімічний склад сланців може змінюватися в границях, мас. %: SiO₂ — 55...65; Al₂O₃ — 12...17; (Fe₂O₃ + FeO) — 5...10; TiO₂ — 0,3...0,5; CaO — 0,6...0,9; MgO — 2,0...3,0; SO₃ — 0,1...0,5; K₂O — 5,0...6,0; Na₂O — 0,1...0,5; втрати при прожарюванні — 4,0...8,0. Порівняння наведених складів дозволяє зазначити, що кристалічні

сланці за хімічним складом подібні до легкоплавких глин, які використовують для виробництва керамзиту.

Технологічна схема одержання сланцепориту (гравію, щебеню та піску) передбачає застосування сухого способу підготовки та переробки сировини. При цьому, в разі наявності включень роговиків у складі сланців, використовують метод вибіркового подрібнення у грохоті-дробарці, що забезпечує збагачення сланців. Наявність роговиків та інших включень у складі сланців не впливає суттєво на основні властивості отриманого заповнювача, але при цьому відмічається деяке підвищення його насипної густини.

Для виробництва сланцепориту отримують дрібняк (або сирцеві гранули) фракцій 5...15 та 15...30 мм. Випалювання сланцю відбувається в обертовій печі протягом 30...40 хвилин, з витриманням 10 хв в зоні спучування при температурі 1280 °С.

Отриманий таким чином заповнювач характеризується насипною густиною 500...750 кг/м³, міцністю при стискуванні у циліндрі 2,0...3,5 МПа.

В цілому слід зазначити, що за своїми властивостями сланцепорит не поступається керамзиту. В той же час, з урахуванням простоти технологічної схеми виготовлення, що включає тільки подрібнення та випалювання кристалічних сланців, останні можна вважати за якісну сировину для виготовлення легких пористих заповнювачів.

Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-17-95 на готову продукцію марка сланцепоритового гравію та щебеню за насипною густиною повинна бути у межах М250...600; марка щебеню за міцністю П15...П50 (0,5...1,5 МПа); пісок характеризується марками за насипною густиною М400...800.

Сланцепоритові заповнювачі придатні для виготовлення легких бетонів, які можна використовувати для несучих та огорожуючих конструкцій.

10.4. Глинозольний гравій

Глинозольний гравій — це продукт спучування та спікання в обертовій печі гранул, що виготовлені із суміші глини і золи ТЕС. Для виробництва глинозольного гравію використовують легкоплавкі глинисті породи (в кількості від 20 до 90 мас.%) та золу (від 10 до 80 мас.%), яку постачають із золівідвалів від пиловидного спалення торфу, бурого і кам'яного вугілля.

Додавання глинистого компонента до складу шихти покращує її формувальні властивості, сприяє спаленню залишків вугілля у золі, що дає змогу використовувати відходи з підвищеним вмістом невиваленого палива.

Для виготовлення глинозольного гравію придатні золи, які містять SiO_2 — 33...57%, Al_2O_3 — 14...37%. З підвищенням ступеня дисперсності та кількості золи в складі сировинної суміші збільшується міцність керамзиту та зростає його середня густина. Дисперсність золи повинна становити не менш ніж $100 \text{ м}^2/\text{кг}$, вологість — не більше 30%, вміст неспаленого вугілля — до 10%, CaO — до 10%, сірчаних і сірчаноокислих сполук — не більше 5%. Максимальна температура плавлення золи повинна дорівнювати 1380°C . При надлишковій кількості вуглецю гранули керамзиту оплавляються і якість заповнювача погіршується.

Співвідношення між окремими компонентами шихти підбирають так, щоб орієнтовний вміст окремих оксидів в глинозольній шихті був у межах, %: SiO_2 — 40...60; Al_2O_3 — 15...25; $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ — 7...15; CaO — 1...6; C — не більше 10.

Регулювання властивостей глинозольного гравію може відбуватися за рахунок використання золи з визначеними характеристиками, наприклад, для отримання глинозольного гравію низьких марок за насипною густиною (до 500) використовують золи ТЕС дисперсністю від 100 до $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ із вмістом оксидів заліза у межах 12...20%; а для одержання глинозольного керамзиту підвищеної міцності потрібно застосовувати золи ТЕС дисперсністю вище $300 \text{ м}^2/\text{кг}$, що містять Al_2O_3 більше 20%, а вуглецю — до 5%. З метою підвищення інтервалу спучування пористого заповнювача використовують золи ТЕС з температурою плавлення вище 1380°C .

При реалізації технології виготовлення глинозольного гравію (рис. 10.5.) глиниста сировина повинна мати число пластичності вище 15, а глинозольна шихта — не нижче 7. Формувальна вологість глинозольної маси — 18...28%, причому у шихті для виготовлення гранул обмежується кількість включень вуглецю до 10%. Згідно з технологічними вимогами температура випалювання глинозольних сирцевих гранул не повинна перевищувати 1250°C , а інтервал спучування повинен становити більше 30 градусів.

Коригуючі добавки у виробництві глинозольного гравію використовують для зниження або підвищення густини і міцності, вогнетривкості, жаростійкості, стійкості заповнювача до агресивних середовищ, а також для регулювання реологічних властивостей шихти, наприклад, пластичності, в'язкості та адгезії. Добавки для коригування складу вводять у шихту або наносять на поверхню відформованих гранул.

При отриманні глинозольного гравію зола, що використовується як добавка до глини, сприяє збільшенню кількості органічних домішок у складі сировини і підвищує її здатність до спучування. В тому випадку, коли обмежені запаси глинистої сировини, що здатна до спучування, а золівідвали розташовані поблизу від заводів, є

доцільним використання золи ТЕС як основного компонента керамзитової сировинної суміші. Отриманий заповнювач (при наявності в його складі золи більше 80%) можна класифікувати як зольний гравій.

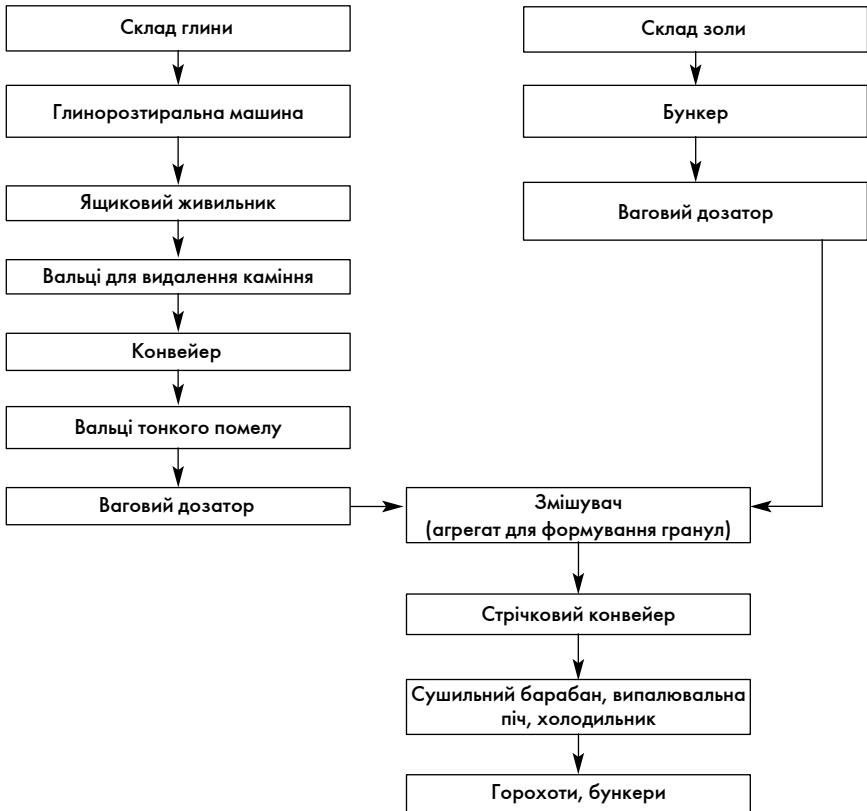


Рис. 10.5. Принципова технологічна схема виготовлення глинозольного гравію

Властивості глинозольного гравію залежать від виду та співвідношення глинистого і зольного компонентів у складі шихти. З підвищенням кількості золи у складі шихти (від 10 до 80%) збільшується насипна густина і відповідно зростає міцність глинозольного гравію.

Виробництво глинозольного гравію відбувається за технологічною схемою, що прийнята для керамзиту, і включає наступні технологічні операції: послідовне подрібнення і усереднення золи та глинистого компонента і їх змішування, введення добавок

(рідких та твердих) у шихту, одержання сирцевих гранул, їх облудрювання та випалювання в обертових печах протиструмінної дії. Виробництво глинозольного гравію може здійснюватися на діючих керамзитових підприємствах при різних методах підготовки шихти. В цьому випадку керамзитові підприємства повинні бути обладнані закритим складом з окремим збереженням золи та глини; дозуючим пристроєм для золи, глини, добавок; механізмами для усереднення двокомпонентної шихти.

Для виробництва глинозольного гравію застосовують переважно золи з відвалів гідровидалення, тому що використання сухої золи-винесення ускладнює процес гомогенізації глинозольної шихти. Головною особливістю технології виготовлення глинозольного гравію поряд з доставкою і усередненням золи є більш ретельна підготовка сировинної суміші. Для цього використовують двостадійне перемішування глинистої породи і золи в послідовно встановлених агрегатах. Золю змішують з глиною в глинозмішувачі з парозволоженням, глинозольна маса подається на вальці для переробки та гомогенізації, а потім в агрегат для грануляції.

Властивості глинозольного гравію повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-17-95. Насипна густина глинозольного гравію становить 400...700 кг/м³, міцність при стискуванні в циліндрі — 2,3...4,8 МПа, водопоглинання — 10...21%, морозостійкість — більше 15 циклів, коефіцієнт форми — 1,2...1,8; вміст розколотих зерен — до 15%; за зерновим складом глинозольний гравій може включати фракції 5...10 мм — 5...40%, а 20...40 мм — 2...20%.

Технологія виготовлення глинозольного піску принципово не відрізняється від технології виготовлення керамзитового піску.

Глинозольний гравій та пісок використовують як пористий заповнювач для отримання легких бетонів класів від В3,5 до В30. Глинозольний гравій також можна виготовляти з покращеними експлуатаційними властивостями і використовувати як надлегкий, надміцний, жаростійкий та стійкий до дії агресивних середовищ заповнювач, придатний для виготовлення бетонів спеціального призначення.

10.5. Випалений зольний гравій

Сировиною для виробництва випаленого зольного гравію є золи теплоелектростанцій, в тому числі і з відвалів після їх гідровидалення. У якості зв'язуючих добавок використовують СДБ (сульфітно-дріжджову бражку) та глину.

Зола, що застосовується для виготовлення такого заповнювача, повинна відповідати наступним умовам: вміст неспаленого палива —

не більше 6%; вміст Fe_2O_3 — не більше 65%; вміст $(\text{CaO} + \text{MgO})$ — не більше 8%.

Золу, що містить більше 6% неспаленого палива, необхідно попередньо прожарити або ввести до її складу легкоплавку глину.

Глина, яку використовують як добавку до золи, в кількості від 10 до 20 мас.% (залежно від пластичності сировини), повинна відповідати наступним вимогам: вогнетривкість не більше $1320\text{ }^\circ\text{C}$; відношення $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O})$ — у межах від 3,5 до 10; число пластичності — не менше 7.

Технологія отримання випаленого гравію передбачає сушіння та помел золи, потім її обкатування в кульки-гранули діаметром біля 15 мм. Для здійснення грануляції та забезпечення достатньої міцності гранул, золу змочують водним розчином лігносульфонатів технічних (ЛСТ) або додають глину. Потім гранули підсушують та випалюють у коротких обертових печах прямоструминної дії, причому їх подають одразу у високотемпературну зону печі (температура біля $1200\text{ }^\circ\text{C}$). Для підвищення пористості випаленого заповнювача, до золи можна додавати деревну тирсу.

Також можливий ще один технологічний спосіб отримання зольного випаленого гравію: золу з відвалів доставляють до складу, звідки її подають грейфером до приймальних бункерів, звідти — у сушильний барабан. Якщо у золі вміст палива становить більше 6%, то її подають на довивалювання. Потім зола проходить крізь холодильник і подається до кульового млина. Мелений продукт повинен мати тонкість помелу, що забезпечує прохід крізь сито 0,063 не менше ніж 70% вихідної маси. Змелений продукт відправляють до відділення грануляції. Грудкування відбувається на тарілчастих грануляторах. Одержані зольні гранули подають до сушильного барабана на попередню теплову обробку. Напівфабрикат сушать димовими газами, що отримані в окремій топці і мають температуру до $300\text{ }^\circ\text{C}$.

Висушені гранули подають до обертової прямоструминної печі. У печі довжиною 20 м і діаметром 2,5 м гранули випалюють при температурі $1150\text{...}1250\text{ }^\circ\text{C}$. Случені гранули направляють у барабаний холодильник і після охолодження — на сито-бурат або плоский віброгрохот для сортування за фракціями.

Зольний гравій представлений гранулами кулькоподібної форми розміром від 5 до 40 мм. Поверхня гранул звичайно оплавлена і має бурий або сталевий колір, а структура їх може бути пористою. Насипна густина зольного гравію — $300\text{...}800\text{ кг/м}^3$, причому густина гравію фракцій 5...10 та 10...20 мм майже однакова. Границя міцності при стискуванні у циліндрі приблизно відповідає вимогам до керамзитового гравію тієї ж насипної густини — $0,5\text{...}10\text{ МПа}$. Вміст розколотих зерен — не більше 5%, втрата маси після 15 циклів

поперемінного заморожування і відтавання — не більше 10%, при прожарюванні — не більше 5%; водопоглинання — 3...13%.

Заповнювачі на основі золи ТЕС в суміші з глинами одержують також і в протиструминних обертових печах за технологією, що прийнята у виробництві керамзиту, і тоді його називають глинозольним керамзитом (витрати золи — від 10 до 80 мас.%, а глини — від 20 до 90 мас.%).

В деяких країнах зольний випалений гравій отримують спіканням у спеціально обладнаних тунельних печах.

Наприклад, заповнювач, що відомий як "Pollytag", виготовляють за технологією голландської фірми "Vasim" на основі золи-винесення фракцій до 0,5 мм. До золи додають подрібнений вапняк та бентоніт, спікання грануляту відбувається на спеціальних решітках у тунельних печах при температурі 1000...1300 °С. Отриманий заповнювач має насипну густину 650...850 кг/м³, пористість — 40%, морозостійкість — 25 циклів. Заповнювач застосовується для виготовлення легких бетонів міцністю до 60 МПа, які можуть бути використані при будівництві багатоповерхових будинків та мостів.

Головне застосування золівмісні заповнювачі знаходять при виготовленні конструкційно-теплоізоляційних бетонів.

10.6. Аглопорит

Аглопорит одержують спіканням (агломерацією) сировини, яка може бути представлена глинистими або піщано-глинистими породами, відходами від добування, збагачення та спалення твердого палива. Цей спосіб широко використовують у металургійній промисловості для агломерації руд.

Розміщувати заводи з виробництва аглопориту доцільно в місцях знаходження териконів та вуглезбагачувальних фабрик. Перевага надається пухким відходам у зв'язку з тим, що при переробці каменеподібної сировини ускладнюється технологічна схема її підготовки до спікання, а тому збільшується собівартість продукції.

Використання аглопориту ефективне як засипка, а також в якості заповнювача при виробництві високоміцного бетону, оскільки конструкції з такого бетону характеризуються меншою середньою густиною і їх собівартість на 10...12% менше собівартості аналогічних конструкцій із важкого бетону.

Для виготовлення аглопориту в якості глинистої сировини доцільно застосовувати легкоплавкі глини, що не здатні до спучування, або слабо спучуються, та суглинки з вогнетривкістю від 1150 до 1250 °С. Обов'язковим компонентом шихти є подрібнене паливо або відходи виробництва, що його містять. Технологія

виробництва аглопоритових щебеню, гравію та піску передбачає виконання операцій, наведених на рис. 10.6.



Рис. 10.6. Технологічна схема отримання аглопоритового щебеню та піску

Із відходів промисловості, що містять паливо, доцільно використовувати відходи добування сланців та вугілля, відходи вуглезбагачення та золи і шлаки ТЕС, які відносяться до тугоплавких та середньої плавкості з інтервалом розм'якшення більше 100°C . Питома поверхня золи ТЕС повинна становити не менш ніж $200\text{ м}^2/\text{кг}$, а число пластичності відходів вуглезбагачення крупністю до $0,3\text{ мм}$ повинно бути не менше 5.

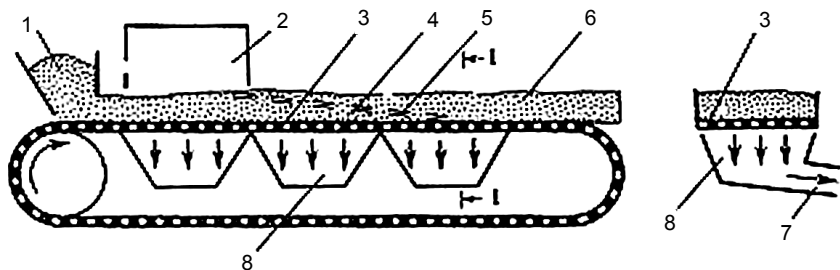


Рис. 10.7. Схема агломераційної машини:

1 — завантаження шихти; 2 — запалювальний горн; 3 — колосникова решітка; 4 — шар шихти, що спікається; 5 — зона горіння палива; 6 — спечений корж; 7 — відсмоктувач газів; 8 — вакуум-камера

При використанні відходів, що містять паливо (залежно від характеристик плавкості сировини), обмежується кількість останнього і для легкоплавкої сировини — становить до 10%, для сировини середньої плавкості — до 12% і для тугоплавкої сировини — до 15%.

Агломераційна машина (рис. 10.7.) — це конвеєр, що безперервно рухається і складається із візків-палет, які мають в основі колосникову решітку із жаростійкої сталі, огорожену бортиками з двох сторін. Верхня гілка конвеєра рухається по рейці над вакуум-камерами.

Шихта завантажується на колосникову решітку шаром 200...300 мм та запалюється, проходячи під горном, де за рахунок подавання рідкого або газоподібного палива температура піднімається приблизно до 1000 °С. Далі, рухаючись над вакуум-камерами, шихта завдяки просочуванню повітря спікається. З машини надходить спечений корж, який зазвичай є неоднорідним: усередині має місце повне спікання, а на поверхні утворюється так звана недопалена речовина, що характеризується невеликою міцністю та стійкістю. Враховуючи вищенаведене, після спікання шихти необхідно відокремити недопал. Корж розломлюється коржерозломлювачем, шматки падають на решітку, слабоспечені частинки при цьому висипаються та повертаються до технологічного процесу як добавка до сировини, що покращує газопроникність та спікання шихти.

Як добавки, що сприяють підвищенню швидкості спікання глинистої сировини, а також збільшенню потужності агломераційних машин та покращенню якості аглопориту, використовують деревну тирсу, лігнін (супутній продукт гідролізу деревини), золу та інші відходи промисловості.

Для різних видів сировини і складів шихти вертикальна швидкість спікання 5...10 мм/хв та більше, наприклад шар шихти 200 мм спікається за 20...40 хв.

Крім шахтного холодильника для охолодження аглопориту використовують стрічкові (металевий транспортер з перфорованим днищем), чашкові (кільцевий бункер з двома жалюзійними циліндричними стінками) та барабанні холодильники.

Залежно від вимог в технологічній схемі одержання готового продукту передбачається два або три ступені подрібнення. Первинне подрібнення забезпечує отримання кусків розміром 100...200 мм. На другому ступені подрібнення отримують матеріал з максимальною крупністю 20...40 мм. При включенні в технологічну схему третього ступеня подрібнення максимальна крупність одержаного матеріалу становить 5...20 мм.

Подрібнений аглопоритовий щебінь або гравій розсіюють за фракціями 5...10, 10...20, 20...40 мм, пісок — за фракціями до 1,25 мм та 1,25...5 мм.

При отриманні аглопоритових гравію або щебеню утворення пористої структури матеріалу пов'язане з рядом процесів, що протікають як у період приготування сирцевих гранул (зерен), так і в процесі їх термічної обробки.

Основні фактори, що впливають на утворення пористої структури аглопориту: видалення вільної та фізично зв'язаної води; вигорання палива та органічних домішок, що є у вихідній сировині або спеціально введені до неї; просочування повітря та газів крізь шар розм'якшеної шихти; спучування окремих зерен (гранул) шихти; спікання частинок при наявності рідкої фази в окремому елементі (зерні, гранулі) шихти.

Верхні шари, що спеклися за цей час, охолоджуються повітрям, яке просочується. Коли зона горіння палива доходить до колосникової решітки і процес агломерації закінчується, одержують спечений аглопоритовий корж, який подрібнюють за допомогою коржерозломлювача та одновалкової дробарки на щебінь та пісок.

У зв'язку з відсутністю надійно працюючого обладнання інколи використовують спосіб природного охолодження аглопориту на відкритому складі. Швидкість охолодження становить 3...4 °С за хвилину. Для запобігання підвищення рівня вмісту газу та пилу у повітрі складу кінцева частина агломераційної машини використовується для часткового охолодження коржа до температури 500...600 °С та вигорання вуглецю. Відкритий склад дає змогу організувати роботу дробильно-сортувального комплексу в одну зміну. Подача охолодженого аглопориту у приймальний бункер пластинчастого живильника здійснюється грейферним краном. Первинне подрібнення коржів виконується за допомогою зубчастої

дробарки, потім матеріал проходить крізь грохот, а отримані фракції більше 20 мм — подаються на валкову дробарку.

Для виробництва аглопоритового гравію використовують види золи з інтервалом плавлення не менше ніж 50...100 °С і вмістом оксидів заліза нижче 4%.

Аглопоритовий гравій має щільну поверхню і тому при однаковій з щебенем середній густині відрізняється від останнього підвищеною міцністю і меншим водопоглинанням.

Застосування агломераційного методу термічної обробки золи при одержанні пористих заповнювачів сприяє зменшенню витрат технологічного палива за рахунок використання неспаленого вугілля, дає змогу регенерувати тепло і застосовувати гази, що відходять, забезпечувати високий тепловий ККД агломераційних машин поряд з їх високою продуктивністю.

Виробництво аглопоритового гравію, порівняно з виробництвом аглопоритового щебеню, характеризується зменшенням витрат технологічного палива на 20...30%, низьким розрідженням повітря у вакуум-камерах, а також збільшенням питомої продуктивності в 1,5...2 рази.

Щебінь та гравій аглопоритові поділяють на марки за насипною густиною від 400 до 900 кг/м³, пісок — від 600 до 1100 кг/м³. Міцність повинна бути 0,5...1,5 МПа для аглопоритового гравію; 0,5...2 МПа — для щебеню.

Особливістю аглопориту, як і більшості інших заповнювачів, є те, що при зменшенні розмірів фракції щебеню чи піску, насипна густина заповнювача збільшується.

Міжзернова пустотність щебеню складає 50...60%, таким чином, густина зерен приблизно в 2 рази перевищує насипну густина щебеню. Пористість зерен щебеню знаходиться в межах 40...60%. Коефіцієнт форми в середньому не повинен перевищувати 2,5.

На відміну від керамзиту аглопоритовий щебінь характеризується більшою кількістю відкритих пор (15...20%), що приводить до деякого збільшення витрат цементу при виготовленні бетону, але одночасно сприяє зміцненню заповнювача та зчепленню його з цементним каменем.

Аглопорит відрізняється порівняно високою однорідністю за насипною густиною та міцністю.

До аглопориту ставлять вимоги щодо стійкості до залізного та силікатного розпадів, при цьому втрати маси не повинні перевищувати 5 та 8% відповідно. Втрати маси при прожарюванні не повинні перевищувати 3%.

Морозостійкість аглопориту повинна становити не менше 15 циклів перемінного заморожування та відтанення при втратах маси, що не перевищують 8%. Коефіцієнт розм'якшення зерен аглопориту

повинен бути більше 0,7. Вміст водорозчинних та сірчаноокислих сполук в перерахуванні на SO_3 не повинен перевищувати 1 мас. %.

Аглопорит використовують головним чином для отримання конструкційних та конструкційно-теплоізоляційних легких бетонів класів В 3,5...В 30, що мають середню густину 900...1800 кг/м^3 .

§11. Виробництво теплоізоляційних виробів на основі спученого вермикуліту

11.1. Загальні відомості про спучений вермикуліт

Спучений вермикуліт — сипкий зернистий матеріал, який одержують у результаті випалення *природного вермикуліту*.

Природний вермикуліт — складна високогідратована слюда (гідрослюда), яка містить кристалізаційну воду. При швидкому нагріванні до $t = 850...1200$ °С відбувається виділення парів води та спучування вермикуліту внаслідок його розщеплення на окремі слюдяні пластинки, злегка скріплені між собою. Деякі види вермикуліту при цьому збільшуються в об'ємі в 15...20 разів і більше. Густина природного вермикуліту — 2100...2700 кг/м^3 , температура плавлення — близько 1300 °С, вологість породи має не перевищувати 10%. Хімічний склад вермикуліту зазвичай представлений такими сполуками, % мас.: SiO_2 — 37...41; Al_2O_3 — 10...14; Fe_2O_3 — 3...15; FeO — 1...5; CaO — 0,6...1,8; MgO — 15...24; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — 5...13; H_2O — 1,4...11.

Найчастіше вермикуліт засмічений порожньою породою, що не спучується, яка відокремлюється при переробці різними способами: просіюванням, сепарацією у водному чи повітряному середовищі тощо. Спучений вермикуліт — ефективний ізоляційний матеріал; він застосовується у вигляді теплоізоляційної засипки при температурі поверхонь, що ізолюються, у широкому діапазоні: від -260 °С до 1100 °С (до 900 °С — при ізоляції вібруючих поверхонь), для виготовлення звуко- та теплоізоляційних виробів, а також як заповнювач для легких бетонів і для приготування штукатурних ізолюючих композицій. Залежно від розміру зерен розподіляється на фракції:

- крупний 5...10 мм;
- середній 0,6...5 мм;
- дрібний до 0,6 мм.

Спучений вермикуліт характеризується високою пористістю, низькою густиною, малою теплопровідністю та високою температуростійкістю. Основні фізико-механічні характеристики цього матеріалу залежно від марок наведені в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1.

Фізико-механічні властивості спученого вермикуліту

Назва характеристик	Марка		
	100	150	200
Густина, кг/м ³	100	150	200
Теплопровідність, Вт/м·К, не менш ніж, при температурі, К: 298±5 598±5	0,064 0,15	0,07 0,156	0,075 0,162
Вологість, % мас., не більш ніж	—	3	—

11.2. Одержання спученого вермикуліту

Спучений вермикуліт отримують шляхом випалу сортованої, очищеної та подрібненої породи в шахтних або трубних печах. Випал вермикуліту відбувається в потоці гарячих димових газів, які утворюються при згорянні рідкого чи газоподібного палива.

Технологічна схема виробництва спученого вермикуліту показана на рис. 11.1.

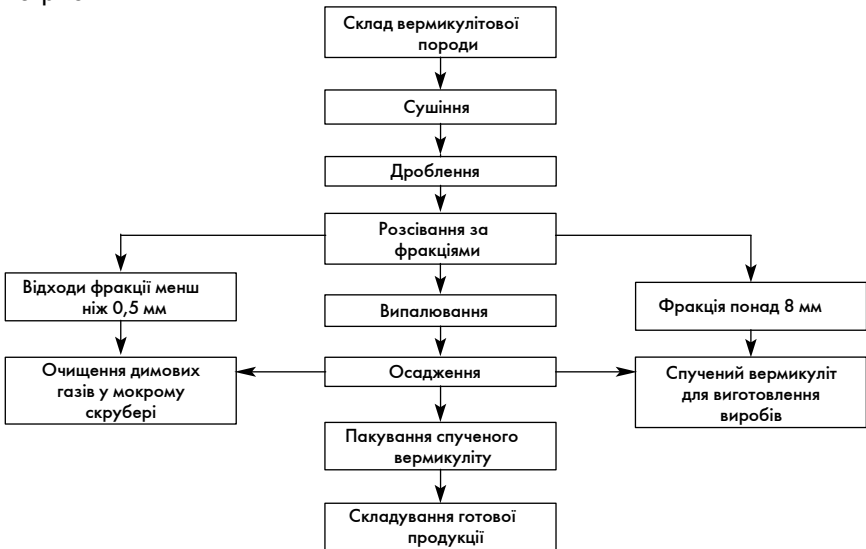


Рис. 11.1. Технологічна схема виготовлення спученого вермикуліту: 1 — склад вермикулітової породи ; 2 — сушіння; 3 — подрібнення; 4 — розсівання за фракціями; 5 — відходи фракції менш ніж 0,5 мм; 6 — випалювання; 7 — фракція понад 8 мм; 8 — очищення димових газів у мокрому скрубєрі; 9 — осадження; 10 — спучений вермикуліт для виготовлення виробів; 11 — пакування спученого вермикуліту; 12 — складування готової продукції

Шахтна піч являє собою вертикальну металеву трубу (4), футеровану всередині вогнетривкою та теплоізоляційною цеглою (рис.11.2.).

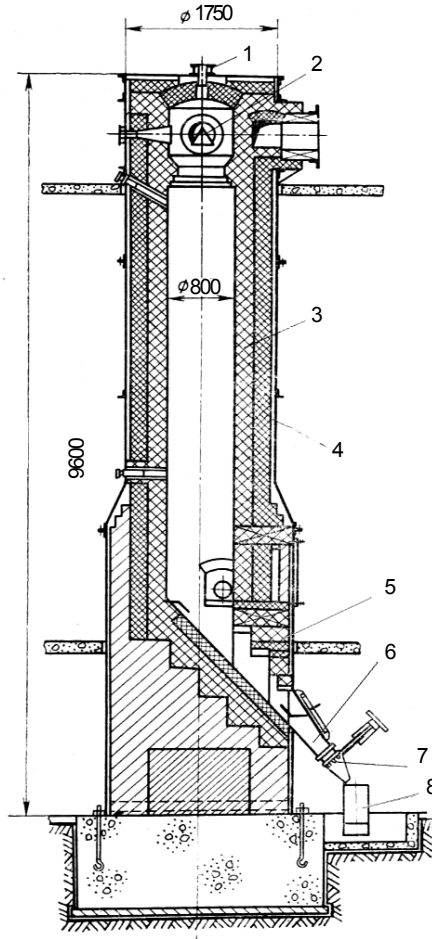


Рис. 11.2. Шахтна піч для випалювання вермикуліту: 1 — завантажувальний патрубок, 2 — конус-розсікач, 3 — шахтна піч, 4 — труба, 5 — похилий під, 6 — вивантажувальний отвір, 7 — затвор, 8 — бункер готової продукції

Сировина подається через завантажувальний патрубок (1), розташований у верхній частині печі, і рівномірно розподіляється по поперечному перерізу печі спеціальним конусом-розсікачем (2). Опускаючись униз, вермикуліт потрапляє у висхідний потік гарячих газів, які утворюються при згорянні рідкого або газоподібного палива

та рухаються з відносно невеликою швидкістю. У процесі падіння в середовищі високотемпературних газів, долаючи опір потоку, — вермикуліт спучується й падає на похилий під (5), котрий сполучається з вивантажувальним отвором (6), що має затвор (7), який і регулює потрапляння спученого вермикуліту до бункера готової продукції (8).

Для випалу в шахтних печах використовують подрібнену вермикулітову породу з розміром фракції 0,5...10 мм. Фракція менш ніж 0,5 мм вважається відходом виробництва, а більша за 10 мм — підлягає додатковому подрібненню.

Трубна піч — складова частина сушильно-пічного агрегату, до якого входять сушильний барабан (5) і циклон (12) (рис.11.3.). Сировина завантажується в бункер (3) і барабанним живильником (4) подається в обертювий сушильний барабан (5), переміщуючись у робочому об'ємі барабана з одного його краю в інший. Рух забезпечується нахилом барабана під кутом близько 5° і гвинтоподібними спрямовуючими полицями всередині нього. Висушений і нагрітий до 100 °С вермикуліт завантажується барабанним живильником (9) у піч випалу (11), де потрапляє в гарячий газоповітряний потік. Температура випалювання (спучування) вермикуліту — 1000...1200 °С.

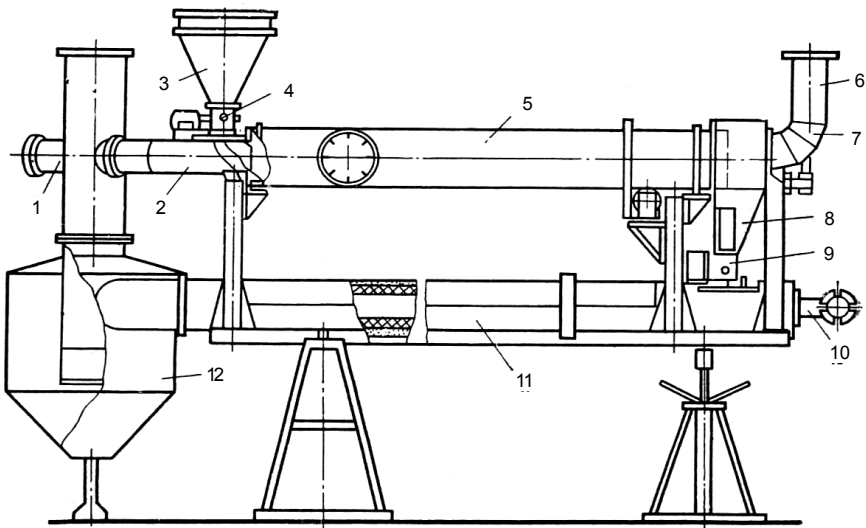


Рис. 11.3. Сушильно-пічний агрегат для виробництва спученого вермикуліту: 1 — усмоктувальний повітропровід, 2 — повітропровід, 3 — завантажувальний бункер, 4, 9 — барабанні живильники, 5 — сушильний барабан, 6 — витяжна труба, 7 — вентилятор, 8 — бункер для сухого сирцю, 10 — форсунка, 11 — трубчаста піч, 12 — циклон

Вермикуліт може випалюватися й в обертових печах, проте якість спучування в цих умовах нижча, ніж у газоповітряному потоці трубчастих чи шахтних печей, оскільки під час руху вздовж обертової печі відбувається часткове руйнування зерен спученого вермикуліту на окремі пластини.

Останнім часом випалення вермикуліту здійснюється також у печах “киплячого шару” — високоефективних сучасних теплових агрегатах. Досить перспективною для цих приладів є заміна газоподібного палива на тверде. При цьому скорочуються тривалість випалювання та витрати палива за рахунок підвищення теплопередачі від теплоносія до випалюваного матеріалу. Теплоносієм є очищений фракціонований кварцовий пісок. Циркуляція теплоносія всередині агрегату сприяє сталості температури всередині киплячого шару. У процесі спучування (випалу) вермикуліт піднімається у верхній шар теплоносія, а потім разом із частиною кварцового піску його вивантажують із печі та сепарують. Після сепарації кварцовий пісок повертається в піч.

Печі “киплячого шару” використовують також для випалювання (спучування) перлітового піску з розміром зерен 5...10 мм.

10.3. Технологія виготовлення ізоляційних виробів на основі вермикуліту

Технологічна схема виробництва вермикулітових виробів є аналогічною схемі виготовлення перлітових виробів (підготовка й дозування сировинних компонентів, готування формувальної суміші, формування та термообробка).

Формувальні суміші використовують у вигляді гідромас або напівсухими. Вироби з гідромас формують у дві стадії: початкове вакуумування з подальшим пресуванням. Напівсухі суміші формуються вібрацією та пресуванням.

Як ізоляційні найбільш поширені *азбесто-вермикулітові* вироби на мінеральному чи органічному в'язучому. Застосовуються вони, залежно від виду зв'язуючого, при температурах поверхонь, що ізолюються, від 60 °С до + 600 °С, для теплоізоляції споруд, промислового устаткування, резервуарів і трубопроводів.

Вироби випускають у вигляді плит (довжиною 1000 та 500 мм; шириною 500 мм; товщиною 40, 50, 80 і 100 мм), напівциліндрів та сегментів (завдовжки 500 мм; завтовшки 40, 50 мм; внутрішнім діаметром: напівциліндрів — від 52 до 177 мм; сегментів — 222, 282 і 383 мм). В якості в'язучого при виготовленні виробів застосовуються:

- мінеральні: цемент, вапно, гіпс, діатоміти, глини, рідке скло;
- органічні: синтетичні смоли, бітум, крохмаль.

Для надання ізоляційним матеріалам необхідних властивостей (підвищена міцність, водостійкість та ін.) часом застосовують комбінації в'язучих — мінеральних та органічних, у різних співвідношеннях, — наприклад, глину із крохмалем, глину з бітумом, цемент із синтетичними смолами тощо.

З азбесто-вермикулітових виробів найпоширенішими є крохмально-бентонітові та бітумно-бентонітові, склади яких наведені в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2.

Склад азбесто-вермикулітових виробів на основі крохмально-бентонітового та бітумно-бентонітового в'язучого

Найменування компонентів складу	Вміст у виробі, % мас.	
	на крохмально-бентонітовому в'язучому	на бітумно-бентонітовому в'язучому
Спучений вермикуліт	68	54
Азбест (4 або 5 ґатунк)	18	15,3
Бентонітова глина	10	11
Крохмаль	4	—
Бітум БНД 40/60	—	18
Сульфатно-дріжджова бражка (СДБ)	—	1,7

Принципова технологічна схема виробництва азбестовермикулітових виробів на бентоніто-крохмальному в'язучому зображена на рис. 11.4.

Азбест піддають двостадійному розпушуванню: напівсухому — на бігунах, мокрому — у пропелерній мішалці.

Водну суміш бентонітової глини 30%-вої концентрації готують у лопатовому змішувачі (тривалість процесу 35...40 хв.). Зі змішувача суспензію зливають у витратний бак — мішалку. У ході процесу, за необхідності, азбестову та бентонітову суспензії змішують у витратному баці.

Бітумно-бентонітову пасту приготують так само, як і при виготовленні перлітобітумних виробів у лопатовому змішувачі або диспергаторі, а формувальну масу з відносно вологістю 75...80% — у лопатовому або шнековому змішувачі.

Як уже зазначалося вище, залежно від вологості формувальної маси виробу формуються або на конвеєрі, або на пресі. На пресі з вакуумним відсмоктуванням води виготовляють вироби з гідромаси підвищеної вологості.

При пластичному формуванні маса з відносною вологістю 75...80% надходить із бункера на піддони, укладені на формувальному конвеєрі. Далі маса розрівнюється мундштуком-гладилом.

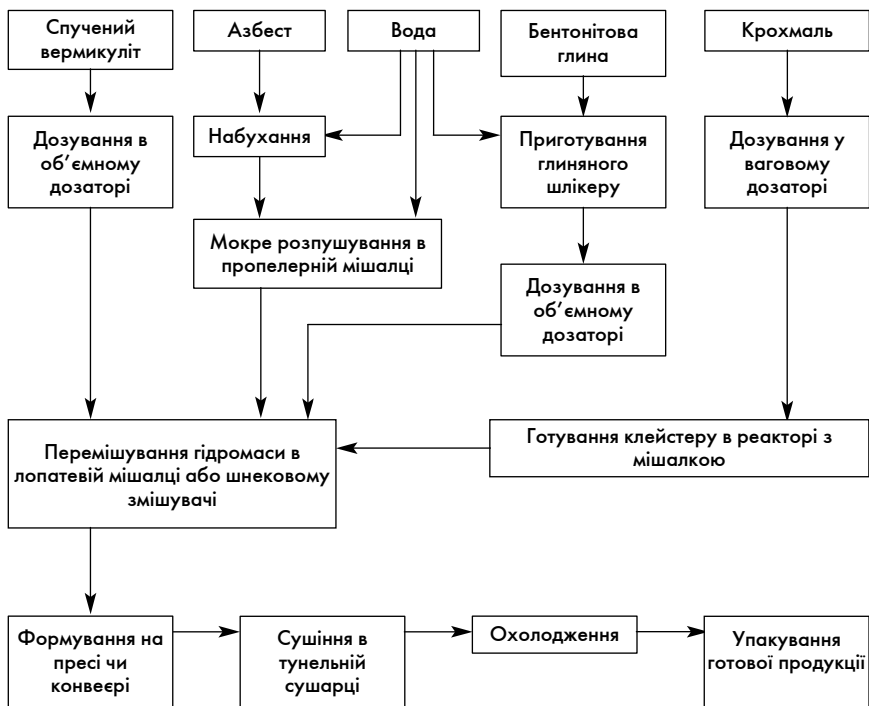


Рис. 11.4. Технологічна схема виробництва азбестовермикулітових виробів на бентоніто-крохмальному в'язучому

Відформовані вироби на піддонах подаються в тунельні прямотоково-протитокові сушарки. Сушіння відбувається при температурі теплоносія 175...200 °С — на боці завантаження та 150...180 °С — на боці вивантаження.

Упакована продукція зберігається у критих складах відповідно до марок, у штабелях заввишки не більш ніж 2 м в умовах, що виключають їхнє зволоження та механічне пошкодження.

Технологія виготовлення вогнестійких азбестовермикулітових виробів на рідкому склі з додаванням діатоміту та кремнефтористого натрію включає завчасну підготовку в'язучого й добавок.

Вермикулітові вироби на рідкому склі характеризуються високою жаростійкістю, відносно невеликою середньою густиною та низькою теплопровідністю. Так, оптимальна середня густина такого матеріалу перебуває в межах 400...500 кг/м³, межа міцності при стисненні становить 0,2...0,55 МПа. Після 252разового нагрівання до 850 °С межа міцності знижується в 1,5...2 рази. В умовах довготривалого (800 год) перебування при $t = 1000$ °С межа міцності матеріалу

складає 0,3...0,35 МПа. Температуропровідність при $T = 323 \text{ K}$ становить 0,099 Вт/м·К.

У таблиці 11.3. наведені деякі склади азбестовермикулітових композицій на рідкому склі з добавками діатоміту та кремнефтористого натрію (каталізатора тверднення рідкого скла).

Таблиця 11.3.

Склади теплоізоляційного азбестовермикуліту на рідкому склі

Найменування компонентів	Вміст % мас.		
	1	2	3
Спучений вермикуліт (фракція 0,6-6 мм $\gamma_{06} = 140 \text{ кг/м}^3$)	59	47,8	53,7
Азбест (4 і 5 ґатунок)	7,5	15	—
Діатоміт	7,5	15	20,3
Рідке скло (густиною $1,42 \text{ г/см}^3$)	22,3	18,6	22,3
Кремнефтористий натрій	3,7	3,5	3,7

Для виготовлення азбестовермикуліту на рідкому склі спучений вермикуліт просіюють для відокремлення фракцій, крупніших за 7...8 мм. Азбест обробляють на бігунах, після чого розпушують у ролах або пропелерних мішалках, а потім віджимають від води. Можливе введення азбесту до суміші у вигляді пульпи. Діатоміт сушать, подрібнюють і просівають крізь сито з отворами 0,5 мм. Рідке скло розбавляють до густини $1,42 \text{ г/см}^3$ (для зручності дозування). Кремнефтористий натрій просіюють крізь сито з отворами 0,25 мм. У лопатевий змішувач (розчиномішалку) спочатку заливають дозований об'єм води та рідке скло, а потім додають азбест, кремнефтористий натрій і діатоміт. Після перемішування (1...2 хв.) завантажують вермикуліт, і суміш перемішують ще 1...2 хвилини.

Із перемішаної суміші на формувальному конвеєрі формуються вироби (плити, шкаралупи, сегменти); відформовані вироби надходять на сушіння.

Цементні вермикулітобетони одержують двох видів:

- теплоізоляційні, середньою густиною $300...600 \text{ кг/м}^3$, з максимальною міцністю при стисненні 0,2...2 МПа;
- теплоізоляційно-конструктивні, середньою густиною $800...1300 \text{ кг/м}^3$ і з максимальною міцністю при стисненні 3,5...10 МПа.

При цьому, для автоклавних вермикулітобетонів доцільно використовувати цементи, які активно тверднуть при автоклавній обробці, а у разі природного твердіння або пропарювання — звичайні портландцементи. Склади вермикулітобетонів із

портландцементом та основні характеристики їхніх властивостей наведені в таблиці 11.4.

Таблиця 11.4.

Властивості вермикулітобетонів із різним вмістом портландцементу

Склад (цемент: вермикуліт) за об'ємом	Витрата матеріалів на 1 м ³ бетону			Властивості бетону		
	слученого вермикуліту, л	портландцементу, кг	води, л	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стисканні, МПа	Теплопровідність, Вт/(м•К)
1:10	1300	120	385	310	0,2	0,088
1:6	1300	200	395	390	0,7	0,106
1:4	1300	300	410	500	1,3	0,13
1:2	1300	600	455	880	3,5	0,19

Вермикулітобетонна пластична суміш характеризується глибиною занурення стандартного конуса 8...10 см, а суміш твердої консистенції 2...4 см. Случений вермикуліт уводиться в мішалку, у заздалегідь підготовлену суміш із в'язучого та води; при жорсткій консистенції спершу змішують сухі компоненти, а потім додають воду. Бетоновермикулітову суміш укладають відповідно до технології, прийнятої при укладанні важких бетонів; однак тривалість вібрування обмежують 35...40 с, а для твердих сполук — до 60 с.

§12. Піноскло (ніздрювате скло, склопор)

Піноскло це легкий пористий матеріал з скла, за зовнішнім виглядом нагадує застиглу піну, в якій пори розділені тонкими стінками.

В промисловості піноскло отримують при спіканні суміші тонко подрібненого скла з газоутворювачем.

12.1. Види, властивості та область застосування піноскла

За рахунок регулювання складу скла, виду газоутворювача, параметрів спікання отримують наступні види піноскла:

- ізоляційно-будівельне;
- звукопоглинаюче;
- високотемпературне;
- фільтрувальне.

Густина піноскла регулюється зміною температури та терміном спікання і залежить від гранулометричного складу подрібненого скла, виду газоутворювача і коливається в межах 150...800 кг/м³.

Пористість всіх видів піноскла (крім фільтрувального та звукопоглинаючого) представлена закритими порами, які відокремлені одна від одної перегородками. Загальний обсяг пор в піносклі може перевищувати 90%. Зі скла з низькою температурою початку кристалізації отримують звукопоглинаюче та фільтрувальне скло з порами які сполучаються між собою за рахунок тріщин та мікропор в міжпорових перегородках.

Міцність ізоляційно-будівельного піноскла на стиск значно перевищує цей показник у інших видів будівельних матеріалів з ніздрюватою структурою. Так, при порівнянні цього показника у піноскла та автоклавного газобетону (матеріалів однакової густини від 300 кг/м³ до 700 кг/м³) встановлено, що у піноскла він вищий у 2...3 рази. Це обумовлено тим що міжпорова перегородка у піносклі представлена досить міцною склофазою з невеликою кількістю дефектів.

Водопоглинання піноскла невелике і коливається в межах 3...8%. Закрита пористість піноскла визначає те, що вода потрапляє тільки у відкриті пори поверхні матеріалу. Якщо ж пори сполучаються між собою (звукопоглинаюче та фільтрувальне піноскло), то водопоглинання може досягати 80%.

Мале водопоглинання обумовлює високу морозостійкість піноскла. Якщо його поверхню захистити від зволоження, то цей матеріал може бути рекомендований для зовнішнього утеплення житлових та громадських споруд, оскільки його теплопровідність складає 0,055...0,09 Вт/м·К.

При використанні піноскла для теплової ізоляції котлів та інших нагрівальних приладів треба враховувати, що температура, при якій відбувається розм'якшення скла складає 400...450 °С.

В останні роки великий обсяг досліджень звукоізолюючих властивостей піноскла виконаний в Білгородському державному технологічному університеті (Росія). Випробування проводили на акустичному стенді. Зразки склопору розташовували в проміжку між камерою високого рівня з джерелом звуку і камерою низького рівня, де проводилися вимірювання рівня звуку, який пройшов через піноскло. В якості джерела шуму використовували генератор звукових сигналів ГС-33. Вимірювання величин звукового тиску проводили вимірювачем шуму і вібрації ВВШ-03 в діапазоні частот 63...8000 Гц з побудовою експериментальної кривої частотної характеристики випробувального зрзця. Індекс звукоізоляції (J_e СНІП 11-12-77) одношарової конструкції, яку випробовували, розраховували на основі одержаних даних графоаналітичним методом.

Одержані результати в порівнянні з нормативним індексом ізоляції повітряного шуму (J_{en}) показані на рис. 12.1.

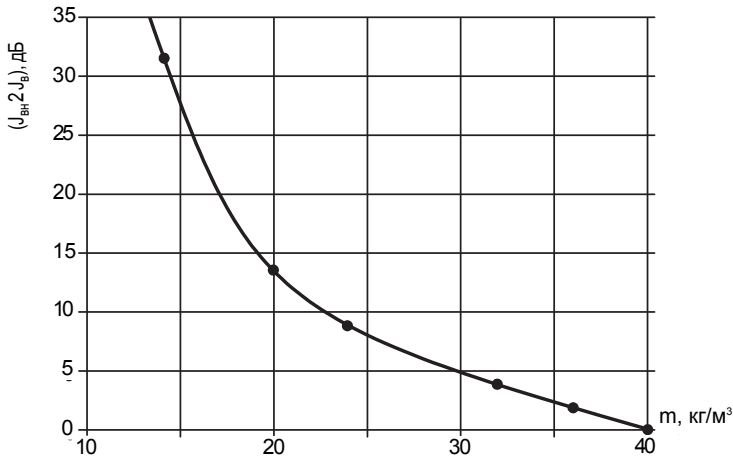


Рис. 12.1. Зміна індексу ізоляції повітряного шуму склопору ($J_{вп}$ 1.2.) відносно нормативного ($J_{вг}$) в залежності від поверхневої густини (m)

Приведені дані показують, що однорідні конструкції, виконані з плит склопору, забезпечують нормативний рівень ізоляції повітряного шуму тільки при достатньо великому значенні поверхневої густини — 40 кг/м^2 , що відповідає товщині 170...270 мм однорідної перегородки з піноскла. Одержані дані достатньо добре пояснюються теорією "хвильових збігів". Звукові хвилі, що падають на матеріал, викликають вигібні коливання, оскільки звуковий тиск неоднаковий в різних точках його поверхні. В місцях мінімальних і максимальних звукових тисків конструкція прогинається. При низьких частотах швидкість розповсюдження вигібних хвиль буде менше швидкості звуку, і в конструкції виникають слабкі вимушені коливання з незначним випромінюванням звукової енергії. Зі збільшенням частоти зменшується довжина звукової хвилі, і при досягненні визначеного значення довжина вигібної хвилі буде дорівнювати проекції хвилі. В цьому випадку виникає співпадання хвиль, при якому інтенсивність вигібних коливань різко зростає. На звукоізолюючу здатність конструкції визначний вплив справляє маса і вигібна міцність. В зв'язку з тим, що склопор має низьку Густина, ефективного зниження рівню шуму в приміщеннях будівель, ізольованих цим матеріалом, можна досягти створенням багат шарової конструкції, в якій він поєднується з іншими будівельними матеріалами, які мають велику масу і малу вигібну жорсткість.

Аналіз частотної характеристики повітряного шуму показує що використання піноскла найбільш ефективно в діапазоні частот 500...1000 Гц.

Таким чином проведені випробування показали, що теплоізоляційні плити з піноскла (склопора), забезпечують нормативний рівень звукоізоляції при товщині 170...270 мм в залежності від густини.

При використанні склопора в багатошаровій конструкції досягаються підвищені звукоізоляційні властивості.

За кордоном піноскло набуло широкого розповсюдження. Так фірмою Pittsburgh Corning організовано його виробництво та продаж під торгівельною маркою Foamglas®. Піноскло випускається з гарантією якості згідно норм ISO 9001, ISO 9002, відповідає всім медично-гігієнічним вимогам та має український сертифікат відповідності (УкрСЕПРО). Основні технічні характеристики Foamglas® наведено в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1.

Технічні характеристики піноскла Foamglas®

Назва показника	Одиниця виміру	Величина показника
Густина	кг/м ³	105...165
Теплопровідність	Вт/мК	0,038
Може бути рекомендовано до застосування в межах	°С	від -260 до +485
Межа міцності при стисканні	МПа	40...60
Модуль пружності	МН/м ²	600...1500
Шумопоглинання	дБ	До 28

На українському ринку пропонується кілька видів виробів під торгівельною маркою Foamglas®:

- Foamglas® T4 — жорсткі плити для облаштування покрівель та стель;

- Foamglas® Wallboard — великі плити різної товщини, що використовують в якості теплоізоляційного шару в стіні, а також з зовнішньої та внутрішньої сторони приміщення;

- Foamglas® та Foamglas® Wallboard — плити для настилення підлоги, що гарантують велику жорсткість, термоопір при відсутності деформації, при експлуатації;

- Foamglas® PERINSUL — спеціальний тип виробів для обкладання будинку ззовні.

В таблиці 12.2. наведено технічні характеристики вищезазначених видів продукції Foamglas®.

Технічні характеристики видів продукції Foamglas®

Тип Foamglas®	Товщина, мм	Розмір плити, мм	Густина піноскла, кг/м ³	Міцність на стиснення, МПа
Foamglas® T4	25,30* 40,50...150, крок 10	300x450* 450x600	120	від 70
Foamglas® Wallboard	40,50,60,80,100	600x1200	105	40
Foamglas® Readyboard	40,50,60,80,100	600 x1200	125	від 80

12.2. Сировинні матеріали

З метою зниження собівартості піноскла використовують наступні види сировини: відходи скляного виробництва, склобій (віконного скла та склотари), скляну крихту, відходи скловолокна, легкоплавкі гірські породи, що вміщують луги.

В той же час відходи скляного виробництва та склобій можуть дуже відрізнятися за хімічним складом та фізико-технічними властивостями. Тому для отримання скломаси гомогенного складу з заданими властивостями використовують склогранулят із спеціально звареного скла. При його виробництві компоненти з високою вартістю (наприклад, кальциновану соду) замінюють більш дешевими луговміщуючими гірськими породами — андезитом, перлітом, вулканічними шлаками, деякими видами легкоплавких глин.

В якості газоутворювача використовуються вуглецьвміщуючі речовини: антрацит, кокс; карбонатні породи, вапняки, мрамур, крейда; карбіди кальцію Ca_2C та кремнію SiC та інші. Вибір газоутворювача залежить від температури виділення газу, температури розм'якшення скломаси та безпосередньо впливає на колір піноскла і характер його пористості.

12.3. Фізико-хімічні основи виробництва піноскла

Суміш яка складається з молотого скла з газоутворювачем, завантажують в металеві форми (45...70%) від їх об'єму, нагрівають і після того, як маса спучиться та заповнить форму, її поступово охолоджують.

При нагріванні до 600 °С частки скла розм'якшуються та перетворюються у дуже в'язку масу. Подальший підйом температури на 50...70 °С призводить до розкладання газоутворювача, а в'язкість скломаси при цьому зменшується. Газ, який виділяється при

розкладанні газоутворювача, поризує скломасу. Спочатку утворюються мікроскопічні пори, що збільшуються за рахунок зростання обсягів газу при поступовому розкладанні газоутворювача.

Поризація скломаси можлива при виконанні наступних умов: наявності достатньо високої в'язкості розплаву, низького поверхневого натягу та великого тиску газової складової.

Властивості піноскла можна регулювати змінюючи параметри технологічного процесу. За рахунок використання тонкоподрібненого та певним чином сепарованого, або просіяного скла отримують гомогенну структуру піноскла. Збільшення витрати газоутворювача від 1 до 5% дозволяє отримати матеріал низької густини. Додаткове введення газоутворювача недоцільне, оскільки призводить до утворення нерівномірної великопористої структури з значною кількістю дефектів міжпорових перегородок. Вплив температури та часу спікання на густину кінцевого продукту обумовлений зниженням в'язкості розплаву та швидким розкладанням газоутворювача. Бажано вести процес спікання повільно при більш низьких температурах, що дає можливість отримати малodefектну структуру піноскла.

Для зменшення напруг в виробі з піноскла, він подається у піч відпалу, після чого охолоджується, а його поверхні обробляються.

Спінювання та відпал піноскла виконують по принципово відмінним схемам:

1. *Виробництво піноскла в формах з жаростійкого металу*
 - в тунельних печах з розділеними зонами спінювання та відпалу;
 - в тунельних печах з об'єднаними зонами спінювання та відпалу;
2. *Спінювання без форм в тунельних печах на конвейєрах.*

12.4. Основні показники піноскла

В залежності від призначення піноскло має різні фізико-технічні властивості.

Теплоізоляційне піноскло густиною до 250 кг/м^3 :

- водопоглинання до 10%;
- міцність на стиск 2...3 МПа.

Теплоізоляційне піноскло густиною вище 250 кг/м^3 :

- водопоглинання 10...40%,
- міцність на стиск 2,5...7 МПа.

Звукопоглинаюче піноскло густиною $200...500 \text{ кг/м}^3$ має структуру з великою кількістю дефектів міжпорових перегородок, пори сполучаються між собою:

- водопоглинання 70...80%;
- коефіцієнт звукопоглинання в інтервалі частот від 60 до 1200 Гц складає 0,5...0,65.

За рахунок зміни складу шихти та виду газоутворювача можна отримувати піноскло різних кольорів: чорне, сіре, фіолетове, біле, зелене, синє.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Яку вихідну сировину використовують при виготовленні керамічних ізоляційних матеріалів та виробів?
2. Охарактеризуйте фізико-хімічні процеси, що відбуваються в глині при спіканні.
3. Дайте визначення діатомітів, трепелів, глин, перлітів, вермикулітів.
4. Опишіть технологію виробництва теплоізоляційних керамічних виробів на основі діатоміту.
5. Як виготовляють спучений перліт?
6. Як поділяють теплоізоляційні вироби на основі спученого перліту?
7. Опишіть технологію виробництва перлітокерамічних технологічних виробів.
8. Наведіть основні споживні характеристики перлітокерамічних виробів.
9. Які вимоги висувають до вихідної глинистої сировини для виробництва керамзиту?
10. Назвіть способи отримання керамзиту і їх відмінності.
11. Як виготовляють спучений вермикуліт?
12. Опишіть технологію виготовлення ізоляційних виробів на основі спученого вермикуліту.
13. Дайте визначення піноскла та його споживних властивостей.

Рекомендована навчально-методична література

1. Справочник по производству теплозвукоизоляционных материалов. Под ред. Спирина Ю.Л., Москва: Стройиздат, 1975. — 432 с.
2. Бутт Л.М., Василяускас, Вайткус И. и др. Справочник по производству теплоизоляционных материалов. Москва, Стройиздат, 1975. — 432 с.
3. Горлов О.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов, Москва, Стройиздат, 1980. — 398 с.
4. Горяйнов К. Э., Горяйнова С. К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. Москва, Стройиздат, 1982. — 376 с.
5. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. – Київ:ТОВ УВПК "Екс ОБ", 2004. — 704 с.
6. Рунова В.Ф., Гоц В.І., Гелевера О.Г., Константиновский О.П., Носовский Ю.Л., Піпа В.В. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Підручник. — 3-є вид. — К.: Основа, 2017. — 528 с., 179 іл., 86 табл.
7. Захарченко П.В., Купрієнко П.Й., Пушкарьова К.К., Рева В.І. Товарознавство керамічних будівельних матеріалів. — Київ: КНУБА, 2006. — 221 с.
8. Сухарев М.Ф., Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Производство теплоизоляционных материалов. "Высшая школа": М., 1981. — 231 с.
9. Радоуцкий В.Ю., Беляева В.И., Черинш А.С. Звукоизолирующая способность стеклопора БелГТУ, Стекло мира, №6/2004, с. 87-90.
10. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К., Барановский В.Б., Кочевых М.А., Гасан Ю.Г., Константиновский Б.Я., Ракша В.А., Строительное материаловедение, "Основа", Киев, 2007. — 704 с.

РОЗДІЛ III.

СКЛЯНА ТА МІНЕРАЛЬНА ВАТА

Силікатна вата (загальна назва скляної та мінеральної вати) і вироби з неї — найбільш поширений вид ізоляційних матеріалів. Вата складається з волокон мікроскопічної товщини, що в більшості випадків розміщені хаотично, і часточок застиглої розплаву, які не сформувалися у волокна, це так звані “корольки”. Якість переробки розплаву у волокно визначає кількість “корольків”, що міститься в отриманій ваті, і, таким чином, чистоту й ізоляційні характеристики силікатної вати.

У цьому розділі розглянуті засади фізико-хімічних процесів отримання розплавів, деякі найбільш поширені типи плавильних агрегатів та способи переробки розплавів у волокно. Особливу увагу приділено підбору шихти (кількісному та якісному підбору сировинних матеріалів для плавлення) і параметрам роботи різних плавильних агрегатів.

§ 13. Силікатна вата. Основні положення

Силікатна вата — волокнистий матеріал, що складається з надзвичайно тонких (мікронного діаметру) взаємно переплених волокон. Силікатні волокна одержують у результаті переробки різними способами силікатних розплавів, які мають певні фізико-хімічні характеристики (склад компонентів, температура, в'язкість). Залежно від хімічного складу розплаву продукти його переробки розподіляють на мінеральну вату й вату із скловолокна.

13.1. Загальні відомості про мінеральну вату



Рис. 13.1. Структура мінеральної вати (мікрофотографія)

Мінеральна вата — волокнистий матеріал, який одержують із силікатних розплавів гірських порід і металургійних шлаків або ж їх сумішей. Мінеральна вата (рис. 13.1.) складається з волокон, що перебувають у склоподібному стані, і неволокнистих включень у вигляді крапель застиглої (непереробленої) розплаву.

Мінеральну вату застосовують для виготовлення тепло- та звукоізоляційних виробів, а також

як ізоляційний матеріал у будівництві та промисловості. Високі ізолюючі показники мінеральної вати й виробів і з неї, недефіцитність сировинних матеріалів для її виготовлення, відносно низька вартість визначили вельми широку галузь її застосування. Ізоляційні властивості мінеральної вати обумовлені вмістом у ній великого числа повітряних пор і каналів (від 95% од загального об'єму).

Виробництво мінеральної вати, незалежно від типу плавильного агрегату й способу переробки розплаву, включає в себе такі основні технологічні операції:

- підбір і підготовку сировинних компонентів (шихти), подрібнення сировини до необхідного фракційного складу та його сортування;
- плавлення сировини й отримання силікатного розплаву;
- переробку розплаву на волокно;
- осад волокна й формування мінераловатного килиму.

Підготовка сировинних матеріалів проводиться залежно від вибраного плавильного агрегату, у виробництві мінеральної вати найчастіше використовують шахтну піч-вагранку, ванну й електродугову піч і, останнім часом, плавильний агрегат конвертерного типу.

Переробку силікатних розплавів у мінеральне волокно роблять різними технологічними способами, організація яких суттєво впливає на якісні показники мінеральної вати.

Осад волокна й формування мінераловатного килиму відбувається в камерах для осаду волокна.

Якісні характеристики килиму, що його одержують, регламентуються чинними нормами на продукцію. Вміст "корольку" у ваті не має перевищувати 10...15%, середній діаметр волокон — 6...8 мкм, рН ≤ 5, вміст органічних добавок ≤ 2%, вміст сірки ≤ 1%, температуростійкість і 700 °С, теплопровідність (Вт/мК) V за температури, К:

298±5	0,045
398±5	0,064
573±5	0,105

Вміст органічних добавок ≤ 2%, вміст сірки ≤ 1%.

З розплаву базальтової шихти, що її одержують у електропечах, у результаті переробки витягуванням через фільтри отримують надтонкі волокна діаметром (1...3) мкм. До виробів з таких волокон, залежно від призначення, діють відповідні вимоги нормативних документів.

13.2. Загальні відомості про скляну вату

Скловолоконно — матеріал, що його отримують різними способами з розплаву скломаси. Він є напівфабрикатом під час виробництва тепло- і звукоізоляційних виробів. Технологія виробництва скловолоконна багато в чому подібна до технології виробництва мінеральної вати.

Залежно від середнього діаметру розрізняють скловолоконно:

- ультратонке (УТВ)..... < 1 мкм;
- надтонке..... 1-3 мкм;
- тонке (текстильне)..... 4-12 мкм;
- потовщене (ізоляційне)..... 12-25 мкм;
- товсте (пружне)..... > 25 мкм.

За довжиною волокна скловолоконно розподіляється на безперервне (рис. 13.2.а), штапельне (рис. 13.2. б).

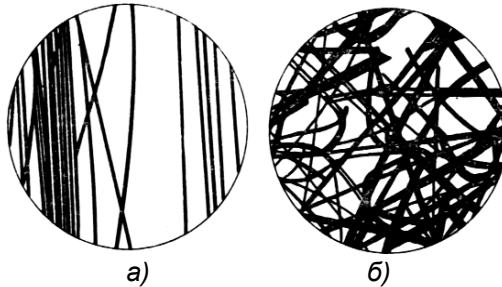


Рис.13.2. Структура скляного волокна (мікрофотографія):
а) безперервного; б) штапельного

Безперервне скляне волокно виготовляють шляхом витягування з розплавленої скляної маси через фільтри. Після витягування скловолоконно пропускають через замаслювальний пристрій для забезпечення й надання йому гнучкості. Його основні показники:

- теплопровідність при 293 ± 5 К..... 0,04 Вт/мК
- морозостійкість
(число циклів заморожування й танення)..... ≥ 35

- гранична температура застосування.....(200)...(+ 450) °С.

Штапельне скловолоконно одержують переважно у спосіб, аналогічний із мінеральним. Довжина штапельного волокна не перевищує (30...50) мм. Основні характеристики штапельного волокна:

- теплопровідність Вт/мК, за температури, К
303 ± 5..... 0,048
373 ± 5..... 0,058
- гранична температура застосування, °С + 450.

§14. Фізико-хімічні засади утворення силікатного розплаву

Скляну й мінеральну вату виготовляють шляхом переробки розплаву (або скломаси) різними способами. Спільна для них усіх вимога – волокна, що їх витягують, мають бути в склоподібному стані.

До речовин у склоподібному стані відносять усі аморфні тіла, що їх одержують шляхом переохолодження розплаву, незалежно від його хімічного складу й температурних показників затвердіння, у результаті поступового збільшення в'язкості. При цьому процес переходу з рідкого стану у склоподібний має бути зворотним.

Усі речовини, що перебувають у склоподібному стані, мають спільні фізико-хімічні характеристики — вони ізотропні, тобто їхні властивості однакові за всіма напрямками. На відміну від кристалів вони при нагріві не плавляться, а поступово розм'якшуються і переходять з пружно-крихкого й пружно-в'язкого у в'язко-пластичний, а згодом у крапельнорідкий стан. Властивості матеріалів, що перебувають у склоподібному стані, змінюються безперервно, вони витримують багаторазовий розігрів до розплавленого стану. Якщо не відбудеться кристалізація або ліквідація (розпад розплаву на кілька рідких фаз) після охолодження за однаковими режимами, матеріали знову набувають первинних властивостей. За певних температурних умов вони кристалізуються, бо володіють більшим запасом енергії, ніж у кристалічному стані.

Таким чином, затвердіння рідкого розплаву призводить або до його кристалізації (при повільному охолодженні), або ж переходу в склоподібний стан — при швидкому охолодженні. Для одержання склоподібної чи мінеральної вати струмись розплаву розподіляють на струмені меншого діаметру й швидко, протягом $(7...10) \cdot 10^{-4}$ с, охолоджують. Розплави, що переходять у твердий стан, обминаючи процес кристалізації, називають *склом*.

Вважається, що головним чинником, що впливає на здатність розплаву переходити в склоподібний стан, є в'язкість розплаву.

З рідкого стану в твердий кристалічний при охолодженні переходять такі розплави, які мають низьку в'язкість, що зростає порівняно повільно при охолодженні аж до настання кристалізації. Їм притаманні, наприклад, такі значення температури плавлення, °С, і динамічної в'язкості, Па·с, відповідно:

- Na — 98 i 0,001;
- Fe — 1535 i 0,007;
- Al₂O₃ — 2050 i 0,06;
- LiCl — 613 i 0,02;
- H₂O — 0 i 0,002.

Для високов'язких розплавів характерним є не кристалізація, а склоутворення. До склоутворювальних розплавів відноситься двоокис кремнію SiO_2 , температура плавлення якого 1713°C , а в'язкість розплаву за цієї температури $\eta = 10^{-6,7}$ Па·с. Склоутворювальними розплавами вважаються також B_2O_3 , $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$.

Установлено, що чим вища здатність до самовільної кристалізації, тим більшу швидкість охолодження доводиться застосовувати, аби перевести розплав у склоподібний стан.

Таким чином, в'язкість розплаву — один із чинників можливості або ж неможливості виготовлення скляної мінеральної вати.

На рис. 14.1. показано вплив температури на в'язкість силікатного розплаву.

Рівні: I — припинення витягування волокон; II — максимальна в'язкість при розділі розплаву на струмені в чаші при відцентрово-фільєрnodуттєвому (ВФД) способі волокноутворення; III — інтенсивне витягування волокон газовим потоком при ВФД; IV — максимальна в'язкість на чаші ВФД; V — рідиннотекучість розплавів при кам'яному литті; VI і VII — початок і закінчення утворення волокон; VIII — утворення неволокнистих уклюдень ("корольків", склосфер).

Початок зникнення крихкості відбувається при переході речовини з пружно-крихкого в пружно-в'язкий стан. Нижче температури початку зникнення крихкості (точка 1, T_n) розплав може бути швидко охолоджений без виникнення постійних внутрішніх напружень. Точка 2 ($T_f \gg T_{\text{нагр.}}$) характеризує трансформацію розплаву або початок швидкої зміни фізичних властивостей скла. T_f — температура склування, початок деформації взірця.

Нижня границя кристалізації розплаву настає з появою кристалів при нагріві до $T_g^{\text{нагр.}}$ (точка 2). Цю границю при охолодженні ($T_g^{\text{охол.}}$) досягають за температури, близької до T_g (точки 3 і 3'), границя показує на завершення кристалізації при охолодженні. При T_k (точки 4 і 4') кристали інтенсивно ростуть, наслідком чого є поява максимумів продуктів кристалізації, властивих складові розплаву. Розплав застигає нижче T_f (точка 5). За уніфікованої температури текучості T_f (точка 6) у стандартних умовах розплав тече зі швидкістю 1 мм хв. під впливом власної маси. Ця температура приблизно відображає початок переходу від пружнов'язкого до в'язко-рідкого стану. Температура початку кристалізації при охолодженні T_s (точка 7) є верхньою границею температурного інтервалу кристалізації. Вона близька до температури переходу в справжній рідкий стан. Повний перехід розплаву у рідинно-плавкий стан відбувається при $T_{\text{ж.с.}}$ (точка 8).

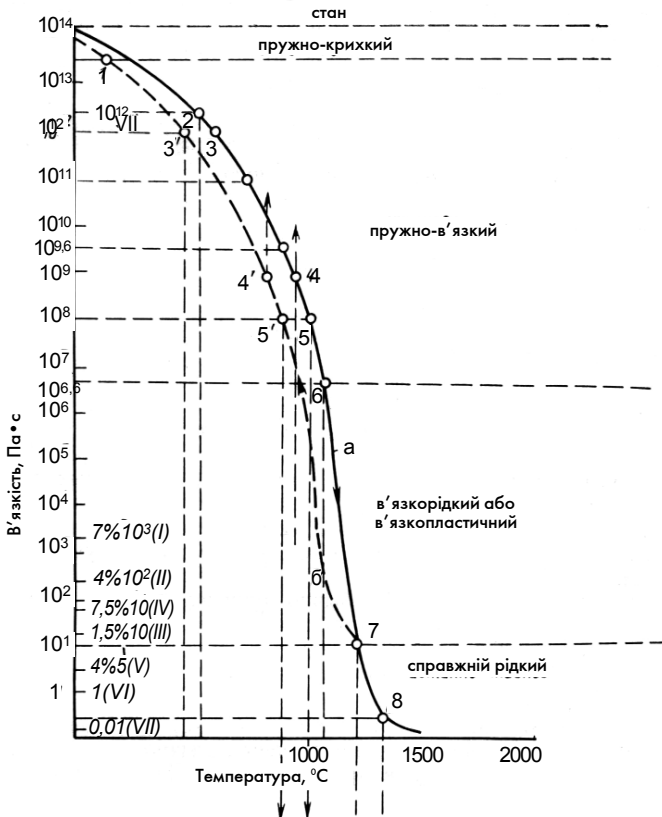


Рис. 14.1. Залежність в'язкості розплаву мінеральної вати від температури: а — при плавленні, б — при охолодженні
Рівні: I — припинення витягування волокон; II — максимальна в'язкість при розділі розплаву на струмені в чаші при відцентрово-фільерно-дутьєвому (ВФД) способі волокноутворення; III — інтенсивне витягування волокон газовим потоком при ВФД; IV — максимальна в'язкість на чаші ВФД; V — рідиннотекучість розплаву при кам'яному литві; VI і VII — початок закінчення утворення волокон; VIII — утворення неволокнистих включень («корольків», склосфер)

Константою, що визначає характер потоку (наприклад, за витоком розплаву на пристрій для роздмухування у волокно), є значення кінематичної в'язкості ν_p , що дорівнює відношенню динамічної в'язкості (η) до густини розплаву (ρ_p):

$$\nu_p = \eta / \rho_p. \quad (14.1)$$

У технології отримання скляної та мінеральної вати велике значення надається переробці на вату розплавів, що мають температуру границі кристалізації (T_f точка 5). Рівень можливості використання цих ват при високих температурах оцінюють за T_g . Високоякісними є волокна, що складаються із скла, без кристалів.

Таким чином, при одержанні волокон із силікатного розплаву основне значення має здатність розплаву до склоутворення й кристалізації.

Ці характеристики, а з ними й можливість отримання розплаву й кінцевої продукції необхідних параметрів, визначає вибір сировинних матеріалів, типу плавильного агрегату й відповідний підбір шихти (кількісного складу сировинних матеріалів для плавлення, а також спосіб переробки розплаву на волокна (див. нижче).

§ 15. Сировинні матеріали

15.1. Сировинні матеріали для виробництва мінераловатних волокон

Сировиною для виробництва мінеральної вати є доменні шлаки і вивержені гірські породи габро-базальтової групи, а також амфіболіти і деякі метаморфічні сланці, які за хімічним складом, наближаються до цих вивержених гірських порід. Всі кислі вивержені гірські породи, в тому числі кисле вулканічне скло типу перлітів і ліпаритів, граніти та гранодіорити мають обмежене застосування у виробництві мінеральної вати оскільки вони тугоплавкі. Їх використання знижує продуктивність плавильних агрегатів і призводить до перевитрат дорогого та дефіцитного палива – коксу. Перспективність використання вивержених основних (габро-базальтових) та кислих (гранітно-ліпаритових) гірських порід при порівнянні з доменними шлаками вже доведена, хоча вони вважаються більш тугоплавкими і такими що зменшують продуктивність плавильного обладнання. Проте загальноприйнятими в світовій практиці виробництва мінеральної вати є повсюдне використання шлаків і габро-базальтових гірських порід. В дійсності всі інші види сировини використовуються для виробництва мінеральної вати значно рідше, і їх використання пов'язане зі специфічними випадками, наприклад, коли потрібно досягнути безбарвності волокон (для виробництва акустичних виробів).

Загально відоме розділення мінеральної вати на „шлакову” (Slag Woll) і „кам'яну” (Rook Woll) пов'язане з існуванням двох різних оптимальних технологічних схем отримання мінерального розплаву при використанні найбільш розповсюдженого плавильного обладнання мінераловатної промисловості — вагранок. Одна з них — отримання

мінеральної вати зі шлаків при використанні простих вагранок з холодним дуттям — добре відома з досвіду роботи вітчизняних мінераловатних підприємств. В даній технологічній схемі шлаки являються єдиною оптимальною сировиною для виробництва мінеральної вати. Заміна цієї сировини на іншу, в тому числі і на відносно легкоплавку габро-базальтову, призводить до зниження продуктивності виробництва технологічних ліній, перевитрат палива, чи погіршення якості волокна. При частковій заміні шлаків іншою сировиною, наприклад, при підкисленні, продуктивність виробництва знижується в меншому ступені, при повній заміні, наприклад, шихтою з базальту і вапняку — в більшій.

Габро-базальтова сировина є оптимальною для іншої технологічної схеми виробництва мінераловатної продукції, коли при використанні вагранок з гарячим дуттям виготовляють так звану „кам'яну вовну” з шихт, які складаються тільки, чи переважно з гірських порід. Ця технологічна схема, на відміну від попередньої вимагає більш складного плавильного обладнання – довершених вагранок, багатовалкових центрифуг для формування волокна. Проте вона дозволяє при високій продуктивності виробництва отримати мінеральне волокно незрівнянно більш стійке до впливу води та вологи порівняно з волокном зі шлаків. Це підтверджує модуль основності (величина, зворотно пропорційна модулю кислотності M_k),

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} > 1 \quad (15.1)$$

мінеральної вати, величина показника якого прямо відображує залежність гідролітичних властивостей мінеральних волокон опиратися дії води та вологи. Так мінеральна вата, виготовлена зі шлаків, при використанні вагранок з холодним дуттям має модуль кислотності 1,0...1,3, у той же час волокна з гірських порід, виготовлені по іншій технологічній схемі, при плавленні шихти в вагранках з гарячим дуттям мають M_k від 1,5 до 2,5.

Кислі вивержені гірські породи, як наприклад, ліпарит, перліт, граніт, гранодіорит та інші не можуть бути заміником габро-базальтових в даній технологічній схемі. Це тугоплавкі матеріали, які мають в собі значно менше флюсів і тому по іншому ведуть себе при ваграночній плавці.

Випробування різноманітних видів мінераловатної сировини, що проводилися в ВНДІ теплоізоляції (м.Вільнюс) дозволили визначити оптимальні значення вмісту головних видів сировини — шлаків та габро-базальтових гірських порід.

Ці дані повністю співпадають з закордонним промисловим досвідом отримання високоякісної мінеральної вати при використанні вагранок з гарячим дуттям. Габро-базальтову сировину застосовує фірма „Роквул” в ФРН, Данії, Швеції, Норвегії та в інших країнах. Акціонерне товариство „Юнгеро Беркштадт”, яке постачає технологічне обладнання, придатне для виробництва високомодульної мінеральної вати, рекомендує застосовувати вказану сировину навіть в тому випадку, якщо ставиться задача на цьому обладнанні отримувати волокна з відносно низьким M_k — 1,5, при цьому в якості другого компонент шихти має застосовуватися легкоплавкий шлак.

Габро-базальтова сировина, крім того, являється підкислювачем для доменних шлаків в процесі отримання стандартної мінеральної вати M_k , рівним 1,2 при використанні простих вагранок з холодним дуттям, оскільки при досягненні заданого M_k вона менше ніж інші підкислювачі збільшує в'язкість розплаву і, відповідно, менше всього впливає на роботу вагранок.

Одним із основних видів сировини у виробництві мінеральної вати є доменні шлаки. Їх найчастіше використовують у твердому стані у вигляді щебеню. Проте має місце застосування шлаків у первинному вогненно-рідкому стані (зазвичай у випадку виробництва мінеральної вати безпосередньо на металургійних підприємствах у спеціальних цехах, обладнаних шлакоприймальними печами).

Шлаки розподіляють на основні, коли модуль основності:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} > 1 \quad (15.2)$$

нейтральні $M_o = 1$ і кислі, коли $M_o < 1$.

Кислі металургійні шлаки, які отримують при виплавці у вагранках, за хімічним станом приблизно відповідають вимогам до розплаву для одержання мінерального волокна.

При підборі сировинних матеріалів зручніше користуватися показником модуля кислотності — M_k , який характеризує основні експлуатаційні властивості й довговічність волокна й ізоляційного матеріалу в цілому (див. вище):

$$M_k = 1 / M_o \quad (15.3)$$

Для отримання стабільного довговічного мінерального волокна необхідно, щоб $M_k \geq 1,4$.

Залежно від хімічного складу шлаки розподіляють на такі групи (% мас.): кременисті SiO_2 і 40; магнезійні — $MgO > 10$, глиноземні — $Al_2O_3 > 15$, вапняні — $CaO > 50$, залізісті — $FeO > 5$, марганцевисті — $MnO > 5$, фосфористі — $P_2O_5 > 5$, титаністі — TiO_2 , сірчисті — $CaS > 5$.

Окисел Al_2O_3 віднесений до кислотних умовно, оскільки він є амфотерним: з основами реагує як слабка кислота, а з кислотами – як слабка основа.

У складі шлаків, що використовуються для виробництва мінерального волокна, найголовнішими є сім окислів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , MgO .

У таблиці 15.1. наведені склади доменних шлаків вітчизняних металургійних заводів.

Таблиця 15.1.

Хімічний склад доменних шлаків металургійних підприємств України

Шлаки (завод)	Кількість, % мас.								$SiO_2 + Al_2O_3$ $CaO + MgO$
	SiO_2	Al_2O_3 $+TiO_2$	CaO	MgO	Fe_2O_3 $+FeO$	R_2O	S	інше	
Маріупольський (Азовсталь)	35-40	9-13	40-46	1-5	До 3	1-2	До 1,8	До 5	0,93-1,13
Запорізький (Запоріжсталь)	34-40	6-12	35-50	1-5	До 5	1-2	До 1,6	До 8	0,89-1,13
Криворізький (Криворіжсталь)	37-40	6-8	45-48	1-6	До 1	—	До 0,7	—	0,86-0,96
Донецький	34-39	7-11	38-50	1-5	До 3	—	До 3	—	0,85-1,08

Для підкислення шлаків і отримання шихти потрібних параметрів використовують сировину, що містить SiO_2 і Al_2O_3 – відходи промисловості, продукти переробки й різноманітні гірські породи.

Золи теплоелектростанцій мають різний хімічний склад залежно від виду спалюваного вугілля: одержані від вугілля горючих сланців золи менш кислі, ніж від спалювання бурого або кам'яного вугілля.

Гірські породи за походженням класифікують на вивержені або магматичні, осадкові й метаморфічні (видозмінені).

Залежно від вмісту SiO_2 магматичні породи ділять на такі групи (% мас.):

- ультракислі або генерациди, сильно пересичені двоокисом кремнію (>75), — анатити, кварцеві кератофіри тощо;
- кислі або ацидіти, пересичені двоокисом кремнію (75...65), — гранодіорити, граніти, перліти;
- нейтральні або мезити (62...52) — діорити, андезити тощо;
- основні або базити, — недонасичені двоокисом кремнію (52...40), базальти, діабазити, габро, порфіри;
- ультраосновні, чи гіпобазити, — сильно недонасичені двоокисом кремнію (40...24), — пікрити, піроксени тощо;

Перехід з однієї групи до іншої не має чітких меж. Найкращою сировиною для виробництва високоякісної мінеральної вати є габро-базальтові породи.

Базальти представлені лавами сучасних вулканів, а також третинного й крейдового періодів; колір – від світло-сірого до чорного, структура – від повнокристалічної крупнозернистої до склоподібної. З родовищ базальту в Україні найбільш відомі Берестовецьке (Рівненська область) Камишоваське (Донецька область). Хімічний склад базальтів, які застосовують для виробництва скляного волокна, наведений у таблиці 15.2.

Таблиця 15.2.

Хімічний склад базальтів, які застосовуються для виробництва скляного волокна

Гірська порода, родовище	Вміст, % мас.							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	R ₂ O	В.п.п.	інше
Середній вміст:	49,1	17,1	11,7	9	6,2	4,6	1,6	0,8
Берестовецьке родовище	49,5	15,8	14	9,8	6,4	2,8	0,6	1
Камишоваське родовище	43,2	18,8	17	7,8	6,8	4,4	1,4	0,6

Якість силікатних (мінераловатних) волокон для ізоляційних матеріалів, отриманих на основі природної сировини, зазвичай вище, ніж у волокон, виготовлених із доменних шлаків.

Зокрема, вони характеризуються більш високою гідролітичною стійкістю, меншим діаметром, більшою довжиною та еластичністю. Шихти для одержання мінеральної вати можуть складатися лише з природної сировини або містити добавки різних промислових відходів, у тому числі й доменних шлаків.

15.2. Сировинні матеріали для виробництва скляних волокон

Для виробництва скляної ізоляційної вати використовують шихту, що складається з кварцового піску, борного ангідриду, окису алюмінію, нефеліну, сульфату натрію, кальцинованої соди тощо.

Кварцовий пісок містить, % мас.: SiO₂ — (97...99,5), TiO₂ — 0,07; Al₂O₃ — (0,03...0,08); Fe₂O₃ — (0,02...0,16); CaO — (0,01...0,19); MgO — до 0,18; Na₂O+ K₂O — (0,008...0,21); в.п.п. — (0,03...0,36).

Родовища в Україні — Часів-Ярське, Новоселівське та інші.

Борний ангідрид B_2O_3 уводять через борну кислоту (56,45% — B_2O_3 і 43,55% води) та буру ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), котра містить 36,5% борної кислоти (B_2O_3), 16,2% окису натрію Na_2O і 47,15% води або ж у перерахунку на безводну: 30,7% Na_2O і 69,3% B_2O_3 .

Окис алюмінію Al_2O_3 потрапляє до розплаву через безводний і водний глинозем, каолін, глину, польовий шпат і нефелін. Польові шпати бувають вапняно-натрієві (плагіооклази) і калій-натрієві. Плагіооклази – ізоморфні суміші триклинних альбіту $NaAlSi_3O_8$ і анортиту $CaAlSi_2O_8$, які утворюють змішані кристали у будь-якій пропорції цих компонентів. Вони також містять невелику кількість ортоклазу $KAlSi_3O_8$. Нефелін $NaAlSi_3O_8$ — вивержена порода, багата порівняно з кремнеземами лужними окислами. У ній присутній $KAlSiO_4$. Хімічний склад нефелінового шламу, % мас.: SiO_2 — 29,9, Fe_2O_3 — 2,72; Al_2O_3 — 3,45; CaO — 56,74; MgO — до 0,18; Na_2O — 22; в.п.п. — 3,05.

Нефеліновий концентрат (продукт збагачення й переробки апатитонепелінових руд) містить, % мас: SiO_2 — 43,4; TiO_2 — 0,31; Al_2O_3 — 29,18; Fe_2O_3 — 2,69; CaO — 1,12; MgO — 1,58; K_2O — 7,02; Na_2O — 12,65; SO_3 — 0,36; в.п.п. — 1,42.

Окис натрію Na_2O уводять до складу шихти через сульфат натрію та соду. Сульфат натрію Na_2SO_4 буває природний й штучний. Природний зустрічається у вигляді мірабіліту $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, тенардиту Na_2SiO_4 і астраханіту $Na_2SiO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$. З 100 мас. часток Na_2SiO_4 у розплав переходить 43,7% Na_2O . Сульфат натрію плавиться за температури 884 °С без розкладу, розкладається за 1200...1220 °С. Його можна відновити, додаючи в шихту і 6,5% вуглецю.

Кальцинована сода – вуглекислий натрій Na_2CO_3 і кристалічна сода $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, котру використовують у вигляді білої порошкоподібної розчинної у воді солі, що містить 58,5% Na_2O і 41,5% CO_2 . Окис калію K_2O уводять до складу шихти через вуглекислу (поташ) і азотно-кислу (селітра) солі. Для внесення у скло 1 частки за масою K_2O потрібно 1,47 мас. частки кальцинованого поташу.

Окрім того, складниками шихти можуть бути крейда ($CaCO_3$), доломіт ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) і глинозем (Al_2O_3).

Скляну вату виготовляють із розплавів, хімічний склад яких визначається способом переробки розплаву у волокно й довжиною волокна.

У таблиці 15.3. наведений хімічний склад шихти для одержання штапельного скляного волокна.

Таблиця 15.3.

Хімічний склад сировини для одержання скловолокна, % мас.

Матеріали	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	
Пісок	98,95	—	0,58	—	0,64	0,13	—	0,11
Сода	—	57,2	—	—	—	—	—	42,8
Крейда	1,47	—	53,9	—	—	0,6	—	43,9
Доломіт	3,2	—	27,06	19,62	2,57	0,53	—	47,7
Глинозем технічний	0,4	—	0,35	—	97,9	0,05	—	1,29
Бура технічна	0,1	16,15	—	—	—	—	36,6	47,2

§ 16. Способи одержання розплаву для виробництва силікатного волокна

16.1. Підготування сировини для виготовлення силікатного волокна

Оскільки в природі рідко зустрічаються сировинні матеріали з необхідним хімічним складом і відповідним модулем кислотності (M_k), потрібний склад підбирають готуванням сировинної шихти, що складається з кількох компонентів (два та більше).

За умови підвищеної кислотності вихідної сировини до шихти вводять карбонатні породи: доломіт, вапняк; при зниженій – кислі гірські породи, бій кам'яної цегли. Кількість кожної зі складових шихти визначається розрахунком. Існують різні методи обчислення складу шихти. На практиці зручно використовувати спрощену методику розрахунку складу багатокомпонентної шихти при відомому хімічному складі сировинних матеріалів і встановленому модулі кислотності.

Співвідношення між компонентами в цьому разі визначається за формулою (для двокомпонентної шихти):

$$B = \frac{M_k \sum O_I - \sum K_I}{\sum K_{II} - M_k \sum O_{II}} \quad (16.1)$$

$$I = \frac{100}{I + B} \quad (16.2)$$

$$II = 100 - I \quad (16.3)$$

де

M_k — заданий (установлений) модуль кислотності;

B — співвідношення між компонентами;

$\sum O_I, \sum O_{II}$ — суми основних окислів першого та другого компонентів, % мас.;

$\sum K_I, \sum K_{II}$ — суми кислих окислів відповідно першого та другого компонентів, % мас.;

I — кількість першого компонента в шихті, %;

II — кількість другого компонента в шихті.

Підготовка сировинних матеріалів залежно від типу плавильного агрегату (вагранка, ванна піч, плавильний агрегат конвертерного типу) складається з таких операцій:

- одержання (у готовому вигляді або ж подрібненням і розсіюванням на місці) певного фракційного складу сировинних компонентів і палива (для вагранок);
- магнітне очищення компонентів від домішок металу;
- готування робочої шихти із сировини й палива (для вагранок) шляхом автоматичного вагового дозування кожного компонента сировини та палива;
- завантаження певної порції шихти й палива (робочої колоші) у вагранку або самої лише шихти у ванні печі та плавильні агрегатиконвертери (рис. 16.1.).

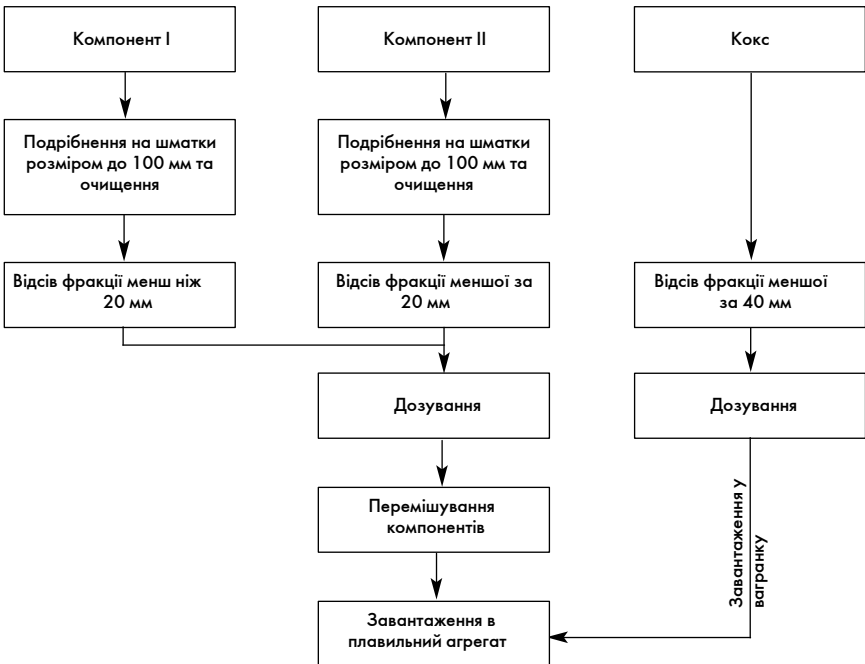


Рис. 16.1. Схема підготовки сировини для завантаження в плавильний агрегат (вагранку, ванну піч, конвертер)

Обладнання для підготування сировинних матеріалів охоплює, беручи загалом, різноманітні машини для подрібнення та помелу, які виконують операції від грубого попереднього подрібнення до тонкого помелу компонентів шихти. До схеми підготовки матеріалу включають також системи магнітного очищення сировини від залишків застиглого металу у шлаці (коли в шихті використовується доменний шлак), а також видалення металевих включень, котрі потрапляють до шихти під час подрібнення компонентів (уламки зруйнованих робочих органів помельного устаткування тощо).

Подрібнення можна провадити роздавлюванням, ударом, стиранням, розколюванням або ж сукупною дією всіх цих навантажень, чим, власне, й обумовлюється вибір типу дробарно-помельних машин. Спосіб переробки обирається залежно від фізичних властивостей матеріалу та необхідної фракції кінцевого продукту.

Ступенем подрібнення матеріалів називається відношення розмірів шматків вихідного (неподрібненого) матеріалу до розміру шматків (фракції), отриманих у результаті подрібнення. Залежно від крупності вихідного матеріалу й розмірів подрібнених шматків розрізняють такі

стадії подрібнення та помелу:

Подрібнення:	
Характеристика	Розмір фракції, мм
— крупне	200...250
— середнє	20...100
— дрібне	3...20
Помел	
— грубий	5...10
— тонкий	до 5
— надтонкий	0,1

У вітчизняній практиці для подрібнення найбільш широко використовуються такі дробарки, які діють за принципом роздавлювання шляхом безперервного обтискання та стирання сировинних матеріалів між двома щокками, які періодично зближуються. Щоккові дробарки випускаються із простим (рис. 16.2.а), коливанням рухомої щоки та зі складним (рис. 16.2.б) ходом рухомої щоки У дробарці з простим рухом щоки рухома щока 3 жорстко закріплена на осі 4, котра спирається на горизонтально розташовані підшипники. Розпірні плити 10 утворюють між собою кут (близький до

180°), унаслідок чого, коли шатун 12 рухається вгору, розпірні плити випрямляються й наближають рухома щока 3 до нерухома 2, дроблячи, таким чином, матеріал, який надходить зверху через приймальний отвір. Роздроблена сировина провалюється в долішню розвантажувальну щілину-тічку. Зміною розмірів щілини регулюється міра подрібнення сировини.

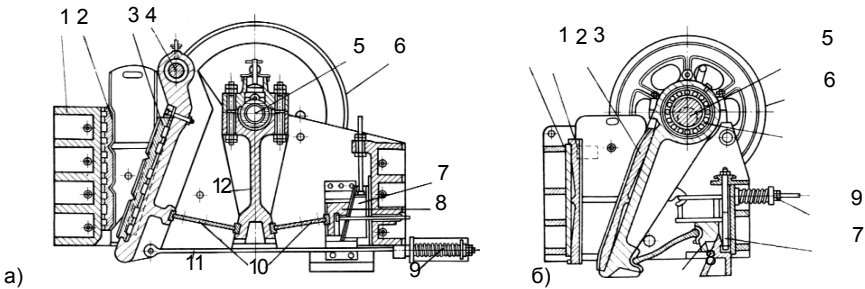


Рис. 16.2. Щокова дробарка: а) з простим рухом щоки; б) зі складним рухом щоки

У дробарці зі складним рухом щоки рухома щока верхньою частиною кріпиться на ексцентриковому валу 5. Коли він обертається, щока рухається по замкнутій кривій, тобто коливається по дузі кола та поступально переміщається вгору-вниз. Сировинний матеріал у такій дробарці водночас із роздавлюванням піддається стиранню.

Максимальний розмір шматків, які завантажуються у щокові дробарки, не повинен перевищувати 0,85 ширини завантажувального отвору. Рухома й нерухома щоки дробарок захищені змінними бронеплитами, котрі добре протистоять стиранню.

Щокові дробарки завантажуються механічними живильниками. При ручному завантаженні над завантажувальним бункером дробарки прилаштовують запобіжні металеві ґрати із просвітом чарунок не більш ніж 200 x 200 мм. Завантажувальні бункери дробарок мають бути обладнані захисними козирками, які запобігають викиданню шматків матеріалу.

У процесі роботи дробарки необхідно стежити за безперебійним і рівномірним надходженням матеріалу, ступенем нагрівання підшипників, ефективністю роботи системи змащення, міцністю закріплення корпусу та справністю всіх деталей і вузлів машини.

Пуск дробарки здійснюється лише за умови цілковитої відсутності матеріалу в робочому просторі. Спочатку вмикаються системи світлової та звукової сигналізації, потім транспортує устаткування, розміщене за дробаркою, й основний електродвигун. Після цього у дробарку подається матеріал.

Перед зупинкою роботи дробарки припиняється подача матеріалу, виробляється весь, до решти, матеріал, що залишився в дробарці, вимикається електродвигун, а потім усі транспортуючі пристрої. Якщо виявлено хоч найменшу несправність будь-якої із систем, дробарку експлуатувати не можна. Усі приводні механізми: маховики, приводні шківни з пасовими передачами та інші — мають бути огорожені й обладнані системами блокуючої сигналізації та вимикання.

Під час роботи дробарки експлуатуючому персоналу заборонено перебувати на ґратах завантажувального бункера, регулювати ширину щілини, підтягувати клини шпонки, пружини й болти, видобувати руками застряглі між щоками дробарки шматки матеріалу, виконувати будь-які ремонтні роботи. Для більш тонкого подрібнення сировинних матеріалів застосовують молоткові або валкові дробарки. Призначені для подрібнення шматків матеріалу в результаті ударної дії молотків, які швидко обертаються й шарнірно або нерухомо закріплені на роторі (рис. 16.3.).

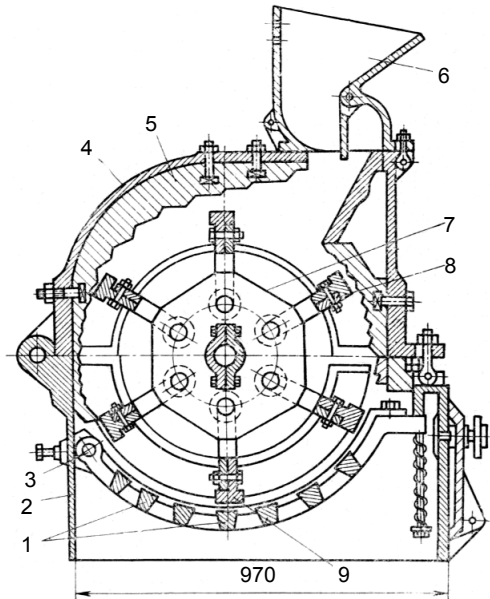


Рис.16.3. Молоткова дробарка

У верхній частині дробарки 4 розташований завантажувальний бункер 6, через який подається сировинний матеріал. На роторі шарнірно підвішені шість молотків 8, циліндричні виступи яких вільно входять в отвори двох дисків, посаджених на вал. До молотків кріпляться змінні ударні головки 9. Корпус дробарки всередині

захищений ребристими відбійними плитами 5. Шматки матеріалу подрібнюються ударами молотків та за рахунок ударів об відбійні плити.

Роздроблений матеріал надходить у нижню частину корпуса дробарки 2, де просіюється крізь колосникові ґрати 1, положення яких змінюється за допомогою шарнірного з'єднання 3. Шматки, котрі не пройшли крізь щілини ґраток, цілковито подрібнюються на ґратах.

Валкові дробарки використовують для подрібнення та помелу сировинних матеріалів у разі їхнього використання для плавлення у ванних печах. Валкові дробарки з гладенькими поверхнями діють за принципом роздавлювання матеріалу. Валки однакового діаметра обертаються назустріч один одному на паралельних осях, розташованих у горизонтальній площині. Матеріал надходить під нахилом згори, затискається між валками й силою тертя втягується в щілину між валками, поступово подрібнюючись на зернові фракції, які стають дедалі меншими. Щілини між валками регулюються.

Для досягнення ефекту стирання (наприклад, при подрібненні глинистих матеріалів) паралельним валкам надають різної швидкості обертання. Недолік гладких валків – їхня поверхня спрацьовується нерівномірно (здебільшого в середній частині валка). Щоб частково усунути цю ваду, застосовуються валки з осьовим переміщенням.

До допоміжного обладнання дробильних установок належать грохоти, живильники, транспортувальні механізми — скіпові підйомники та стрічкові транспортери (конвеєри).

Грохоти призначені для сортування матеріалів на фракції за величиною зерен. При цьому шматки матеріалу розміром до 20 мм (для вагранки) відсіюються, забезпечуючи тим самим належний аеродинамічний режим у робочому об'ємі плавильного агрегату, а шматки завбільшки 20...100 мм спрямовуються в зону приготування шихти та подальшої подачі у вагранку.

Для плавлення у ванній печі сировинні матеріали сортуються залежно від способу волокноутворення, при цьому розмір сировинних часточок, які направляються на подальшу переробку, не повинен перевищувати 5 мм.

За робочі органи грохотів правлять просіювальні поверхні: сита, ґратки або колосники. За характером дії вони поділяються на нерухомі та рухомі.

Нерухомі грохоти складаються з колосників, які утворюють нерухому решітку, придатну лише для грубого сортування сировини.

Рухомі грохоти поділяються на грохоти з коливальним рухом робочого органу та вібраційні. У коливальних грохотів рух може бути прямолінійним і диференціальним у вертикальній площині. Вібраційні, залежно від типу механізмів, бувають інерційні, ексцентрові та електромагнітні. На рис. 16.4. показаний інерційний

віброгрохот, який є найпоширенішим у системі підготовки сировини для приготування шихти. Він складається з опорної рами 1, на яку за допомогою пластинчастих ресор 3 і спіральних пружин 4 спирається віброрама 2 із двома паралельними ситами та направленим вібратором 5. Ведучий вал вібратора обертається від електродвигуна 6. Вібрація, що виникає внаслідок спричинених вібратором кругових коливань у площині сита, передається матеріалу. Під дією вібрації матеріал на ситах невпинно струшується і сповзає в напрямку нахилу сит. Під час посування матеріалу дрібні його фракції випадають у чарунки сит, а решта прямує у витратні бункери.

Віброгрохоти та інші пристрої для просіювання — джерела пилу — повинні бути приєднані до системи витяжної вентиляції. Під час роботи грохота забороняється просовувати застряглий у ньому матеріал, проштовхувати його крізь отвори сит, чистити грохот.

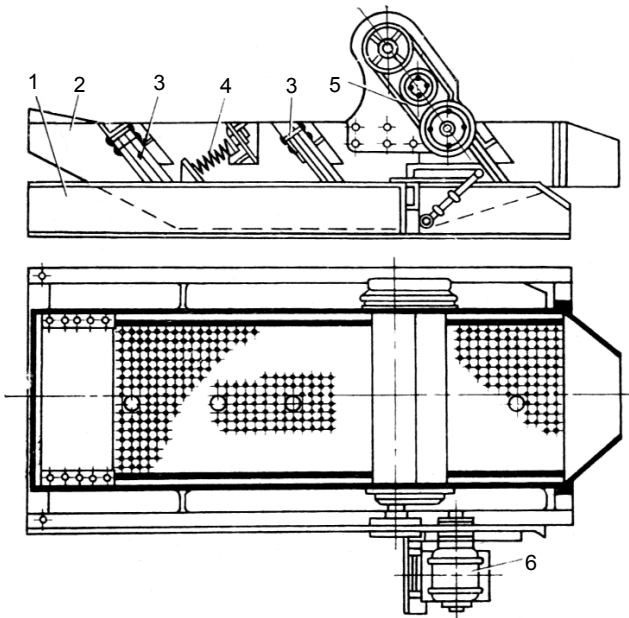


Рис. 16.4. Інерційний віброгрохот

Живильники служать для рівномірного подавання матеріалів у дробарки, на стрічкові конвеєри тощо. За призначенням вони поділяються на живильники для подачі кускової сировини, живильники для подачі пилоподібних матеріалів і живильники для пластичних матеріалів. У виробництві мінеральної вати широко застосовуються вібраційні та пластинчасті живильники.

Вібраційні живильники призначені для дозування й подачі непластичних матеріалів. Вони являють собою похилий лоток, підвішений на пружинах і встановлений під вихідним отвором бункера машини для подрібнення (помелу). На торцевій стінці лотка міцно закріплений електровібратор. Унаслідок вібрації похилого лотка, матеріал, що надходить із бункера, помалу пересувається вниз до завантажувального приймального пристрою. Змінюючи частоту коливань вібратора та кут нахилу лотка, можна регулювати продуктивність живильника.

Пластинчасті живильники використовуються для дозування як кускових, так і пластичних сировинних матеріалів. Вони можуть правити за транспортувальний механізм, подаючи матеріал на відстань, що відповідає довжині живильника.

Пластинчастий живильник становить нескінченну стрічку, котра складається з ланцюга металевих пластин, установлених на рухомих каретках. Швидкість руху стрічки 0,02...0,15 м/с. Живильники випускаються довжиною до 18 м і стрічкою завширшки 1,2...2,4 м.

16.2. Одержання силікатного розплаву. Типи плавильних установок. Вплив складу шихти на властивості розплаву та якість волокна

Найпоширенішими продуктами переробки силікатного розплаву є мінеральна скляна та високотемпературна вата (наприклад, базальтова, діабазова, воластонітова, каолінова, глиноземиста, а також отримана з розплаву підібраної суміші цих матеріалів).

Виробництво вати (силікатного волокна) складається із двох взаємопов'язаних процесів: розплавлення шихти у відповідних плавильних агрегатах до утворення розплаву необхідних параметрів (температури й хімічного складу) та негайної переробки його у волокно. Для випуску волокнистих виробів отримане волокно змочується зв'язуючою речовиною (синтетичні полімери, бітум тощо) або розчином зв'язуючого просочують утворений і сформований силікатно-волокнистий килим. Далі сформований килим зазнає термообробки в спеціальних камерно-конвеєрних сушарках.

Одержуваний у плавильних агрегатах розплав повинен мати відповідні фізико-механічні властивості, насамперед: реологічні характеристики, динамічну в'язкість і поверхневий натяг. Значення цих параметрів залежать від складу сировини та технологічних особливостей процесу плавлення шихти, температури й умов плавлення, способу (методу) переробки розплаву у волокно. Дотримання технології плавлення та переробки розплаву, у свою чергу, обумовлює середню Густина і пружність волокна, котрі впливають на діаметр, довжину та еластичність волокон, його

довговічність, стійкість до вологи, а в спеціальних випадках — розчинів лугів, кислот, продуктів гідратації цементу, впливу високих температур. Скляна вата не повинна бути темного кольору.

Як вже відмічалось, якість вати (волокна), передусім, визначається значенням модуля кислотності M_k . Для якісної вати $M_k \geq 1,4$.

Першоосновою одержання якісного волокна є склад шихти та ефективність плавильного агрегату — його спроможність до стабільного вироблення розплаву необхідних параметрів, насамперед температури, в'язкості та чистоти (відсутність усіляких домішок і бульбашок повітря). Утворювані в плавильному агрегаті силікатні розплави характеризуються температурою верхньої межі кристалізації та температурою рідкоплавкого стану, які обумовлюються складом шихти і, звісно ж, температурою плавлення.

У таблиці 16.1. наведені основні дані про найбільш широко застосовувані у виробництві силікатно-волокнистих виробів плавильні агрегати.

Таблиця 16.1.

Основні характеристики плавильних агрегатів

Плавильний агрегат	Склад шихти, мас, %	Продуктивність за розплавом, кг/год.	Витрата палива		Маса розплаву, одержуваного на витрачений кг умовного палива при плавленні	
			коксу, кг/год.	природного газу, $\text{н м}^3/\text{год.}$	доменного шлаку	карбонатної породи
			У дужках зазначена витрата умовного палива			
Вагранка діаметром 1250 мм	Доменний шлак – (78-85), базальт (30-15)	1980	418 (460)		4,3	
Вагранка діаметром 1250 мм	Доменний шлак (70-85), базальт (30-15)	1700	644 (708)		2,4	
Вагранка діаметром 1400 мм із гарячим дуттям	Габро-діабаз – 78,8; доломіт –26,3	2500	590 (543)	384 (1485) (на нагрівання повітря)	—	2,5
Вагранка коксогазова діаметром 1250 мм	Карбонатні породи Доменні шлаки – (75-90), кислі добавки – (5-10)	2000	260 (271)	140 (170)	4,55	
Безкоксвий (газовий) плавильний агрегат конвєсрного типу (з рекуператором)	Доменний шлак (80-50); базальт (20-50)	2500-2700	—	270-300 (330-366)	7,4-7,6	
Ванна піч із площею поверхні дзеркала 62 м ²	Вапняк – 59, суглинок – 37, сульфат натрію – 4	2300	—	1000-1300 (1220-1568 при роботі сушильного барабана)	1,9-1,45	

Таблиця 16.1.(Продовження)

Плавильний агрегат	Склад шихти, мас, %	Продуктивність за розплавом, кг/год.	Витрата палива		Маса розплаву, одержуваного на витрачений кг умовного палива при плавленні	
			коксу, кг/год.	природного газу, н м ³ /год.	доменого шлаку	карбонатної породи
			У дужках зазначена витрата умовного палива			
Ванна піч із площею поверхні дзеркала 18 м ² (з рекуператором)	Мергель – 80, Вапняк – 20	500	—	375 (455)	1,1	
Електродугова піч	Відсіві доменних шлаків у суміші з піском	650	—	Електроенергія 415 кВт•год. (51,2)	12,7	—
Електроустановка для плавлення тугоплавкої сировини	Базальт, окис алюмінію, кварцовий пісок, алюмосилікати	1800-300	Електроенергія 800-1000 кВт/год.		—	—
Шлакоприймальна піч із площею поверхні дзеркала 42 м ²	Доменний шлак, горілі породи	3900	—	335 (407)	9,6	—
Шлакоприймальна піч із площею поверхні дзеркала 25 м ²	Доменні шлаки, бите скло	4400	—	450 (549)	8,0	

За кількістю виробленого розплаву при витраті 1 кг умовного палива плавильні агрегати можна розташувати таким чином:

■ електродугові печі /відсів доменного шлаку у суміші з піском/	12,5...12,7 кг/кг
■ шлакоприймальні печі	9,0...9,6 кг/кг
■ безкоксові (газові) плавильні агрегати	7,4...7,6 кг/кг
■ вагранки коксо-газові при плавленні шлаку з підкислювачем (діаметр вагранки 1250 мм)	4,55 кг/кг
■ вагранки коксо-газові при плавленні карбонатних порід (діаметр вагранки 1250 мм)	3,8 кг/кг
■ вагранки коксові з гарячим дуттям при плавленні карбонатних порід (діаметр вагранки 1400 мм)	2,5...4,5 кг/кг
■ вагранки коксові при плавленні шихти, що складається зі шлаку та карбонатних порід різного складу (діаметр вагранки 1250 мм)	2,4...4,3 кг/кг
■ електроустановки для плавлення тугоплавкої сировини	1,84...2,68

Утім, при виборі плавильного агрегату (установки) його ефективність відіграє істотну, проте не вирішальну роль. Головною метою організації процесу плавлення шихти є одержання якісного розплаву належної в'язкості та чистоти, а з ним — волокна з необхідними параметрами, модулем кислотності, діаметром, довжиною, еластичністю, гідролітичною стійкістю, що обумовлюють експлуатаційні властивості кінцевого продукту — теплозвукоізоляційного матеріалу (виробу).

Ці властивості досягаються вибором сировини для певного виду продукції або вже наявною сировинною базою, кваліфікованим добром шихти, необхідністю здійснення фракційного розсіву сировини, вартістю палива, самого плавильного агрегату в комплексі та його обслуговування тощо.

В'язкість розплаву і, відповідно, ступінь зв'язаності в ньому кристалів кремнезему, тобто структуру розплаву, характеризує так званий модуль в'язкості, який за своїм значенням є співвідношенням молекулярних кількостей оксидів Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , K_2O та Na_2O .

Уточненим варіантом модуля в'язкості є співвідношення K/O (тобто співвідношення кислих та основних компонентів). Що вищим є значення M_k , то більш в'язким, за решти рівних умов, є розплав, і відповідно вищою має бути температура, необхідна для одержання придатного для переробки у волокно розплаву.

Найлегше плавиться шихта, що складається зі шлаків доменного виробництва. Певна річ, розплав, отриманий з них, має меншу в'язкість за однакових температур плавлення порівняно з шихтою, у якій переважають основні оксиди (насамперед, CaO , MgO , окиси заліза та R_2O , де R — Na або K).

Проте доменні шлаки в чистому вигляді дають силікатне волокно, нестійке до впливу води й атмосферної вологи. Поверхнева гідратація волокон, пов'язана здебільшого з високим вмістом CaO , є головною причиною зниження механічної міцності, запилення та злежування вати. Вироби з таких волокон на синтетичному зв'язуючому (найчастіше фенольному) з тієї ж причини недовговічні, оскільки при гідратації волокон відбувається відщеплення від них часточок зв'язуючого.

Показником довговічності волокон, з цього погляду, є гідролітична стійкість силікатного волокна, яка оцінюється за значенням рН. За ступенем гідролітичної стійкості волокно класифікують на особливо стійке ($\text{pH} < 4$), стійке ($\text{pH} = 4 \dots 5$), середньостійке ($\text{pH} = 5 \dots 6$) і нестійке ($\text{pH} = 6 \dots 7$) та надто нестійке ($\text{pH} > 7$).

Для виготовлення довговічних силікатно-волокнистих цупких і твердих виробів на синтетичному зв'язуючому придатні тільки волокна ($\text{pH} < 5$).

Показник рН розплаву (і, відповідно, волокон) підвищується при збільшенні концентрації в ньому кислих оксидів SiO_2 і Al_2O_3 ; а отже, чим вищими є значення модулів кислотності та в'язкості (співвідношення K/O) шихти, тим стійкішим до гідролізу є волокно, одержуване з розплаву цієї шихти. Однак збільшення вмісту в шихті SiO_2 та Al_2O_3 і призводить до зростання в'язкості розплаву, скорочення продуктивності плавильного агрегату, перевитрати палива, збільшення товщини волокна, зниження його еластичності та інших небажаних наслідків. Тому, вибираючи склад шихти (і певною мірою плавильний агрегат), доводиться поєднувати два протилежні завдання: з одного боку, не допускати занадто великої в'язкості розплаву, з іншого, не допускати дуже низького вмісту в шихті кислих оксидів, що негативно впливає на довговічність силікатно-волоконистих виробів. Тому вибір складу шихти (оптимальної комбінації кислотних та основних оксидів) перебуває в межах цього діапазону крайніх значень і визначається, виходячи з заданих характеристик волокна й обраного типу плавильного устаткування.

З безлічі видів існуючих плавильних установок у виробництві мінерального волокна найширше застосовуються вагранки, як найбільш прості й надійні. Зазвичай розплави, одержувані у вагранках, на виході з льотки характеризуються в'язкістю 0,2...1,5 Па·с. При підборі складу шихти в'язкість вважається такою, що дорівнює 1 Па·с при 1400 °С.

Силікатні розплави, що утворюються у вагранці, мають температуру верхньої межі кристалізації 1300 °С, а температуру рідкоплавкого стану — 1270...1350 °С. У тих випадках, коли температура верхнього періоду кристалізації перебуває в границях 1300...1400 °С, а температура рідкоплавкого стану становить 1480...1500 °С, плавлення шихти у вагранці можливе лише при гарячому дутті ($t_{z.d.} = 400...600$ °С).

Гаряче дуття організується за допомогою підігрівання дуттьового повітря або за рахунок спалювання газу в пальниках чи в рекуператорах з використанням тепла продуктів згоряння основного палива, що відходять із вагранки.

У вагранках, як правило, застосовується коксове паливо, утім, розроблені та використовуються, хоча й не надто широко, вагранки, у яких плавлення здійснюють на змішаному, коксо-газовому, паливі.

Зрідка застосовуються для одержання розплаву безкоксіві (газові) плавильні агрегати конвертерного типу — універсальні високопродуктивні установки, здатні виробляти розплав необхідних параметрів із шихти практично будь-якого складу. Проте вони є досить складними за конструкцією й потребують висококваліфікованого обслуговування.

У ванних печах, котрі обігріваються переважно газом, розплавляють як брикетовану, так і порошкоподібну шихту. Ванні печі можуть правити також за шлакоприймачі для мікшування первинних розплавлених вогняно-рідких шлаків безпосередньо на металургійних заводах. У цих приймачах первинні розплави збагачуються двоокисом кремнію та окисом алюмінію. Мінеральний розплав, отриманий у ванних печах, має температуру верхньої межі кристалізації від 1075 °С (для луговмісного скляного волокна) до 1400 °С (для безлужної мінеральної вати).

В електродугових печах виробляють розплави з широким діапазоном вмісту різних хімічних компонентів і доволі високою температурою верхньої межі кристалізації (вищою за 1700 °С), що важливо для виробництва високотемпературостійкого волокна. Таке волокно може містити, мас. %: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ — (95...98); SiO_2 — (55...45) та Al_2O_3 — (45...55). Температура його застосування — понад 1100 °С.

В електричній печі температура може сягати за 1800 °С. У ванних печах з електричним чи комбінованим обігрівом (в останньому випадку піч спочатку працює на газоподібному та рідкому паливі, а потім вмикаються електроди) дістають такі ж самі розплави, як і у звичайних ванних печах, але за більшої продуктивності й відносно менших витратах тепла.

Вибору технологічної схеми виробництва виробів із силікатного волокна, і передусім плавильної установки, має передувати ретельне та кваліфіковане техніко-економічне обґрунтування з обов'язковим урахуванням усіх вищевикладених чинників.

16.3. Плавлення мінеральної сировини у вагранках

Основними та найпоширенішими плавильними агрегатами у виробництві мінеральної вати є вагранки, найчастіше з охолодженням водою. Широке застосування цих установок пояснюється простотою конструкції, порівняно невеликими витратами капіталу на встановлення, простотою й надійністю в експлуатації, досить високим коефіцієнтом використання тепла від спалюваного палива та неабиякою продуктивністю при невеликих габаритах.

Вагранки призначені для плавлення різноманітної мінеральної сировини, найчастіше це шахтна піч неперервної дії (рис. 16.5.). Тверде паливо (кокс) та мінеральну сировину (підготовлена шихта) періодично завантажують у верхню частину вагранки шарами, а повітря подають знизу через спеціальні фурми (повітряний колектор). У нижній частині вагранки відбувається горіння коксу та плавлення сировини, продукти горіння піднімаються вгору,

одночасно нагріваючи свіжі порції шихти та сировини. Розплав з вагранки випускається безперервно і йде на переробку у волокно.

Протиходовий рух теплоносія (гарячих газів, що утворюються під час спалювання коксу) та сировини забезпечує високу ефективність теплообміну між ними, а відтак попереднє розігрівання шихти перед надходженням її в зону плавлення.

Зазвичай експлуатуються вагранки круглого перерізу діаметром від 750 мм до 1500 мм. На пострадянських теренах у мінераловатному виробництві найчастіше використовуються вагранки виробництва Бологовського заводу «Строммашина» (ТОВ «ТСМ») (таблиця 16.2.).

Таблиця 16.2.

Технічні характеристики найпоширеніших вагранок

Характеристики	Типи вагранок					
	СМ-50М	СМ-5266	СМ-5232А	СМ-5232М	«Стилмет франсез»	СМТ-156
Основні розміри, мм: внутрішній діаметр шахти в зоні фурм	750	1000	1250	1250	1400	1400
діаметр кожуха	1000	1320	1570	1570	1720	1800
відстань від поду до осі фурм першого ряду	400	600	600	750	300	700
відстань між рядами фурм	—	200	200	220	—	220
висота водяної сорочки	2400	2700	2820	2820	2350	4500
робоча висота (від осі першого ряду фурм до порога завалочного вікна)	3040	4480	4000	5750	2400	6000
габаритна висота	12800	20165	19000	20540	14120	15660
Кількість фурм у ряді:						
першому	8	8	11	16	16	16
другому	—	8	12	15	—	16
третьому	—	—	12	—	—	—
Загальна площа перерізу фурм, м ² , у ряду:						
першому	0,0628	0,134	0,184	0,144	0,031	0,126
другому	—	0,072	0,108	0,135	—	0,126
третьому	—	—	0,108	—	—	—

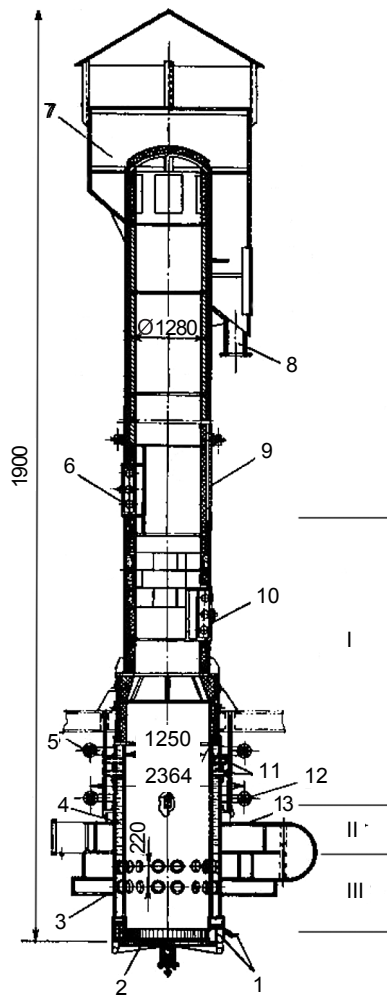


Рис. 16.5. Вагранка для одержання мінерального розплаву:
 1 — лютка, 2 — днище, 3 — фурми, 4 — водяне охолодження,
 5 — труба для відведення води, 6 — завантажувальне вікно,
 7 — іскрогасник, 8 — патрубок для скидання золи, 9 — шахта,
 10 — оглядовий люк, 11 — компенсатори, 12 — труба для
 підведення води, 13 — повітряний колектор, I — зона підігріву та
 сушіння, II — зона плавлення, III — зона перегріву

У виробництві мінерального волокна найширше використовуються вагранки діаметром (за внутрішнім діаметром шахти в зоні фурменого пояса) 1250 та 1400 мм. Подеколи

застосовують еліптичні вагранки завбільшки 1000 x 1100 мм. Площа перерізу вагранки в зоні плавлення визначає її продуктивність щодо розплаву, яка залежно від використовуваної сировини та інших умов коливається в широких межах — від 700 до 2000 кг/м²·год. Висота робочої зони вагранки становить 4...5 діаметрів.

Зона плавлення вагранки (у районі фурменого пояса) зазнає найбільш інтенсивного хімічного впливу розплаву при високих температурах, і її стінки не можуть бути надійно захищені футерувальним шаром. Тому ця зона «одягнена» у водяну сорочку та охолоджується водою.

Виникаючий на внутрішніх стінках вагранки гарнісаж (шар застиглої розплаву) є для них необхідним теплозахистом. Завдяки остигненню водою й виключенню футерування збільшується безремонтний (робочий) термін експлуатації вагранки та знижується вартість її експлуатації.

Верхня частина робочої зони вагранки не має водяного охолодження й футерується шамотною цеглою.

Втрати тепла з охолоджувальною водою в тепловому балансі вагранки становлять 20...30%. Допустима температура нагрівання води 40...80 °С (залежно від її жорсткості — вмісту солей — і лужності). Витрата води при проточній системі охолодження — близько 1 м³/год на 1 м² охолоджуваної поверхні, без спеціальної підготовки.

Істотним зниженням витрати води характеризуються вагранки з випарною системою охолодження (приблизно в 15 разів). У цій системі використовується тільки хімічно очищена вода.

Витрата палива (коксу) у вагранках залежить, здебільшого, від виду застосовуваної сировини і становить 15...25% маси сировини при плавленні доменних шлаків з коригувальними добавками та 25...35% при плавленні гірських порід.

Кокс і сировину завантажують через завантажувальне вікно в бокові стінці вагранки або зверху, через двокорпусний шлюзовий затвор. Подача коксу та шихти з бункерів до місця завантаження здійснюється скіповим підйомником або конвеєром. Найкращим вважається завантаження згори, яке забезпечує рівномірний розподіл матеріалу в шахті та сприятливий аеродинамічний режим у вагранці.

Повітря, необхідне для горіння коксу, подається у вагранку через фурми, рівномірно розташовані по колу повітряного колектора в 1...3 ряди на висоті, що дорівнює 0,5...0,8 діаметра вагранки від її днища. Кількість фурм у кожному ряді 6...16, їхній діаметр 60...150 мм. Тиск дуття залежить від висоти завантаження вагранки та гранулометрії коксу й сировини. Інтенсивність дуття, яка впливає на швидкість плавлення, продуктивність вагранки та температуру розплаву,

визначається кількістю повітря на одиницю площі за одиницю часу й зазвичай дорівнює $0,67 \dots 1,84 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Розплав випускається з вагранки через лютку, котра, як правило, розташована в боковій стіні на висоті від днища, що дорівнює $0,2 \dots 0,35$ діаметра вагранки, або безпосередньо в денці. Діаметр лютки залежить від продуктивності вагранки і становить $35 \dots 80$ мм. При бічному розміщенні можливе накопичення розплаву у вагранці до рівня, розташованого трохи нижче, лютки. Це сприяє гомогенізації розплаву, осадженню заліза, що містилося в доменному шлаці, та запобіганню вибиванню ваграночних газів разом із розплавом.

Для стабілізації струменю розплаву та деякої його гомогенізації до бокової лютки може бути прилаштований накопичувач, який має вигляд чаші місткістю близько 20 л, котра обігривається відхідними ваграночними газами.

Температура розплаву становить $1250 \dots 1360$ °С. Застосовуючи підігрів дуттьового повітря в спеціальних газових підігрівачах або в рекуператорах, які використовують тепло продуктів згорання, що відходять із вагранки, можна одержати значно вищі температури розплаву, а отже, використовувати шихту з більш високим M_k .

У таблиці 16.3. наведені деякі технологічні характеристики плавлення сировини для деяких вагранок.

Таблиця 16.3.

Технологічні параметри плавлення різних видів сировини (шихт) у вагранках

Характеристики	Склад шихти, кг			
	доломіт, бій цегли (0,9/1,0)	сланцевий коксик, керамічні відходи (2/1)	шлак доменний, підкислювач (базальт, граніт, бій цегли (6/1, 4, 4/1)	камінь (галька) доломіт (5/14)
Маса робочої колоші, кг:				
сировини	500	450	350-400	600
коксу	100	150	100-140	200
Інтенсивність повітряного дуття, $\text{м}^3/(\text{м}^2/\text{хв.})$	90...110	70...80	45...50	70...75
Пружність (тиск) дуття, кПа (мм вод. ст.)	8...10 (500...1000)	5...7 (500...700)	2,8...3,0 (280...300)	7,4...8,3 (750...850)
Висота шихти у вагранці, м	2,5...3	1,7...2,5	1,2...1,7	1,4...1,8
Температура відхідних газів, °С	400...600	400...800	100...800	300...800
Продуктивність вагранки, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$	1880...2200	1000...1600	1800...2500	1200...1600
Температура розплаву на виході з лютки, °С	1280...1320	1240...1300	1250...1300	1350...1380

Найбільшим недоліком вагранки є необхідність використовувати в ній як основне паливо дорогий і дефіцитний кокс.

Як варіант часткової альтернативи коксовим вагранкам були розроблені й на деяких заводах експлуатують вагранки, у яких плавлення провадять на коксо-газовому паливі. Вагранки, повністю газифіковані, майже не застосовуються.

Стабільність продуктивності вагранок і температури розплаву в них значною мірою залежить від чистоти та фракційного складу палива й шихти. У відхідних ваграночних газах міститься багато пилу, а повноцінне очищення цих газів викликає неабиякі труднощі; для допалювання окису вуглецю (CO) ваграночних газів необхідні спеціальні допалювальні пристрої, які збільшують вартість й ускладнюють експлуатацію агрегату, щоправда, підвищуючи водночас його ефективність.

Однак у результаті утилізації додаткового тепла для відхідних газів характерні значні коливання температури (у межах 100...1000 °С), пов'язані з періодичним завантаженням вагранки. При середній висоті завантаження 2,0...2,5 м температура відхідних газів становить 500...900 °С, у відхідних газах міститься 5...22% CO₂, до 15% CO та до 5% O₂.

Вміст пилу в технологічних викидах вагранок дорівнює 2...4 г/м³. Ступінь очищення ваграночних газів в іскрогаснику становить 50...60%. Більш високого ступеня очищення газів від пилу (до 90%) можна досягти, якщо встановити на виході циклони, пінні апарати (пристрої мокрого очищення) та інші типи пиловловлювачів; але при цьому необхідно розв'язати питання охолодження відхідних газів.

Для забезпечення ефективності роботи вагранки та допоміжного обладнання весь комплекс оснащується приладами й апаратурою автоматичного керування та контролю основних параметрів процесу.

16.4. Плавлення мінеральної сировини у ванних печах

16.4.1. Ванні печі. Загальна характеристика

Ванні печі — основний плавильний агрегат у виробництві скляної та мінеральної вати. Ванні печі можуть застосовуватися також для виготовлення базальтової вати. Для переробки рідких металургійних шлаків у розплави які придатні для виробництва мінеральної вати, використовують шлакоприймальні ванні печі.

Ванні печі порівняно з вагранками мають низку технологічних переваг:

- печі працюють на рідкому або газоподібному паливі;
- у печі можна плавити дрібнофракційну, у т.ч. пилоподібну сировину;

- при плавленні в печі забезпечується одержання однорідного розплаву, що сприяє виробництву високоякісного волокна;
- у ванній печі можна одержувати розплав зі значним вмістом оксидів кремнію й алюмінію, тобто з високим модулем кислотності ($M_k \geq 1,85$).

До недоліків ванних печей можна віднести високу питому витрату тепла (на 15...35% вищу, ніж у вагранках), а також використання у футеруванні вельми дорогих вогнетривких матеріалів.

Ванна піч складається з басейну 4, фідера 5, регенератора (рекуператора) 1, пальників 2 і завантажувального пристрою 3 (рис. 16.6.). У торці фідера встановлюється водоохолоджувальна панель з отвором для випускання розплаву (льотка). У склепінні фідера перед льоткою розташований пальник для підігрівання розплаву перед надходженням його на вузол волокноутворення. Паливо у ванну піч подається через спеціальні сопла, що розташовані в основних пальниках. Печі зазвичай мають підковоподібний напрям полум'я.

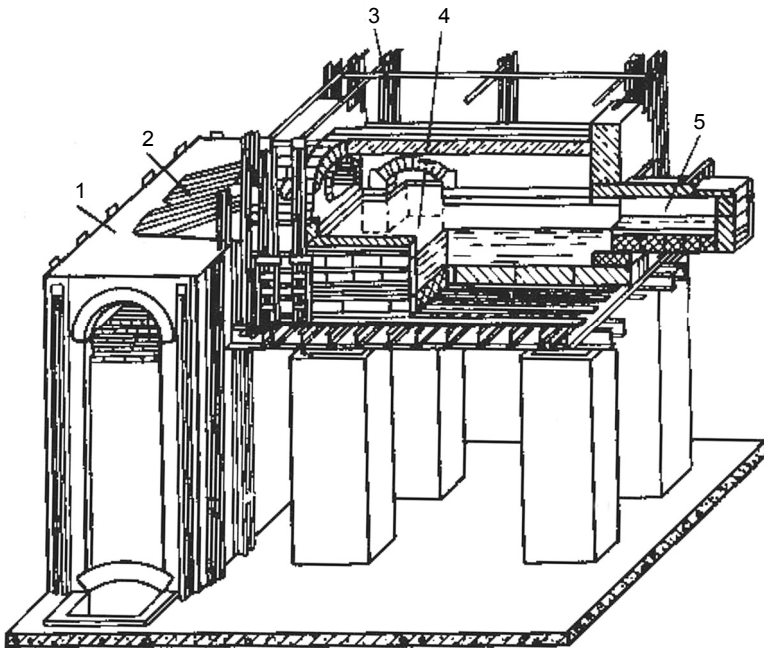


Рис.16.6. Ванна піч: 1 — регенератори; 2 — пальник; 3 — завантажувальний пристрій; 4 — басейн; 5 — фідер

Таблиця 16.4.

Технічні характеристики ванних печей

Характеристики	Значення показників		
	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Площа дзеркала печі, м ²	18	48	62,5
Продуктивність, т/добу	12	38	60
Питоме зняття розплаву з 1 м ² , кг/добу	680	800	960
Теплова потужність печі, МВт	3,2	5,7	8,15
Умовна теплова напруга дзеркала, кВт/м ²	145	105	105
Питома витрата тепла, кДж/кг	2300	1090	1090
Глибина басейну печі, м	0,15	0,4	0,4
Глибина фідера, м	0,035...0,05	0,15	0,15
Пальникові пристрої	2 основні пальники та 2 додаткові	4 сопла й 1 пальник	4 сопла і 3 пальники

Таблиця 16.5.

Технологічні параметри плавлення сировини у ванних печах

Характеристики	Значення показників		
	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Продуктивність за розплавом, кг/год	500	1600	2500
Розмір часток завантажувальної сировини, мм	0,09...0,8	до 1,0	до 1,0
Температура розплаву, °С			
■ у робочому просторі печі	1350	1450...1480	1450...1480
■ у фідері	1450	до 1500	до 1500
■ видаваного розплаву	1400	1350...1380	1380
■ підігріву повітря в регенераторі	600...800	1000	1000
Витрата палива м ³ /год			
■ на піч	260	510	760
■ на фідер	2x50	65	65
Витрата повітря на горіння, м ³ /год	3260	6000	9000
Витрата холодної води, м ³ /год	—	14	—

Басейн печі має прямокутну або звужену до фідера форму. Дно басейну зроблене з багатошарових брусів, покладених на металеві штаби, які, у свою чергу, розташовані на донних балках. Стіни

басейну печі, завантажувальні отвори, входи пальників, пальники та стіни басейну фідера викладаються з бакору, склепіння та верхня частина печі й фідера — з фасонного динасу. Регенератори (рекуператори) розміщені в одному блоці перед торцевою стіною ванної печі. Кладка регенераторів виконана з динасу, динасу-легковаговика, шамоту, шамотного легковаговика та глиняної цегли. Використання вогнетривів у печі зумовлює обов'язкову безперервність міжремонтного технологічного процесу виробництва розплаву. Це також вагомий конструктивний недолік ванних печей.

Шихту в піч завантажують плунжерними завантажувачами, встановленими з бічних сторін басейну печі.

Залежно від способу волокноутворення розплав з фідера випускають крізь водоохолоджувану лютку (за наявності центрифуги) або через фільтрну камеру (при фільтрному способі роздування).

Ванні печі обладнують комплексом приладів й апаратури для контролю технологічних параметрів та автоматичного регулювання процесів.

Ефективність ванної печі обумовлюється величиною площі дзеркала печі та температурою гарячого дуття.

У таблицях 16.4. і 16.5. наведені порівняльні основні технічні та технологічні параметри плавлення сировини у ванних печах з різними значеннями цих показників.

Шлакоприймальні ванні печі зазвичай установлюються на металургійних комбінатах, де використовуються розплавлені доменні шлаки (відход основного виробництва) з доданням підкислювачів (рис. 16.7.).

Шлаковозний ковш із вогненно-рідкими шлаками подається до приймального люка, через який рідкі шлаки зливаються по жолобу 1 у шлакоприймальну піч 2. Періодичність і кількість рідких шлаків, що зливаються в піч, можуть бути різними й зазвичай становлять 5...6 зливів на добу. Місткість шлаковозних ковшів також різняться й коливається в межах 8...20 т. Сировинні компоненти з підкислювачем (склобій, пісок, горілі гірські породи, бита цегла тощо), яких бракує, щоб отримати розплав з потрібним M_k , подаються безпосередньо в шлакоприймальну піч або в жолоб під час зливання шлаку.

Футерування басейну шлакоприймальних печей зазвичай виконується хромомagneзитовою цеглою, склепіння — динасовими вогнетривами.

Підігрітий у печі рідкий шлак із добавками (розплав) надходить у фідер. Піч опалюється газовими й газо-мазутними пальниками.

Технічні показники та технологічні параметри шлакоприймальних печей підприємств України відображені в таблиці 16.6.

Таблиця 16.6.

Основні параметри шлакоприймальних печей

Характеристики	Значення показників			
	Донецький завод теплоізоляційних матеріалів	Цех мін. вати комбінату «Азовсталь»	Криворізький металургійний комбінат	
Тип печі	без регенерації відхідних газів	с підігрівом повітря в регенераторах	регенеративна	рекуперативна
Кількість фідерів	—	2	2	1
Кількість регенераторів (рекуператорів)	—	2	2	1
Кількість пальників	1	6	4	4
Тип пальників: ■ у ванній печі ■ у фідері	газо-мазутний —	газовий газовий	газовий газовий	
Маса шлаку, що заливається, т	55	20	25	—
Площа дзеркала ванної печі, м ²	42	25	25	17
Продуктивність печі за розплавом, т/год	3,9	4,42	3,5	2,0
Вид палива	природний газ, мазут	коковий газ		
Середня витрата газу на піч, м ³ /год	335	450	450	
Теплотворна здатність палива, МДж/м ³	35,6	17,2	18	
Середня температура, °С: ■ шлаку, що заливається ■ видаваного розплаву ■ у робочому просторі печі ■ поверхні склепіння печі	1240 1320 1400 290	1320 1320 1400 200	1150-1250 1420-1460 не вимір. не вимір.	1450
Витрата води на охолодження печі, м ³ /год	30	24	—	—
Температура остидження димових газів, °С	1340	1050	—	800
Вид підкислювача	гірська порода	бій скла		

Переваги виробництва мінеральної вати з вогняно-рідких шлаків — заощадження палива, що витрачається на переплавку шлаків, відсутність відділів підготовки та зберігання шихти. Недолік — утруднене одержання розплавів потрібного хімічного складу; крім того, мінераловатне виробництво залежить від особливостей роботи доменного цеху.

16.5. Електродугові ванні печі у виробництві високотемпературного волокна (вати)

У цих печах можна отримувати розплави з високою температурою початку кристалізації, але не можна допускати значного перегріву розплаву, оскільки при температурах, вищих за 2050 °С, виникає небезпека випаровування кремнію, а далі — алюмінію. Такі печі через високу енергоємність використовують рідко.

Під впливом вуглецю, який додається в розплав при згорянні вугільних (графітових) електродів, відновлюється невелика частина окису заліза (до 20%), двоокису кремнію до елементарного кремнію з утворенням надалі феросиліцію:



Після переходу шихти в рідкий стан утворений розплав починає проводити електричний струм. Плавлення проходить спокійно й майже безшумно, без закипання та викидів розплаву.

Якщо плавку провадять на дузі, то інтенсифікується відновлення заліза та кремнію й розплав скипає.

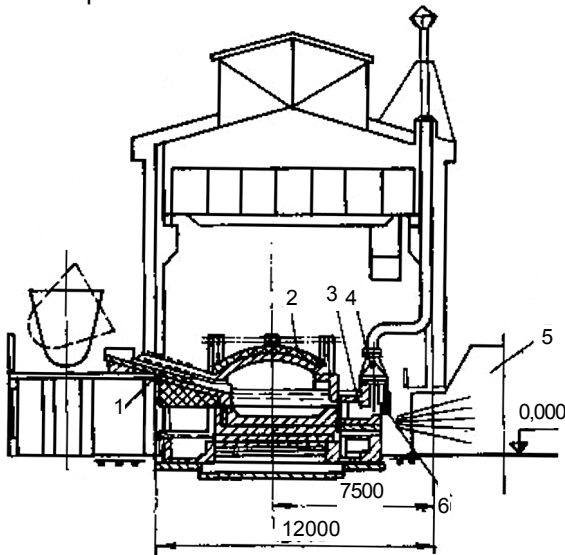


Рис.16.7. Шлакоприймальна ванна піч:

1 — зливний жолоб; 2 — піч-шлакоприймач; 3 — піч-живильник;
4 — витяжний зонт; 5 — камера волокноосадження; 6 — льотка

16.6. Безкоксвий плавильний агрегат неперервної дії

Безкоксвий плавильний агрегат неперервної дії (рис. 16.8.) забезпечує плавлення шихти практично будь-якого складу й одержання, тим самим, розплаву належної в'язкості зі стійким значенням $M_k \geq 1,4$. При цьому плавильний агрегат характеризується досить високою питомою продуктивністю (об'єм розплаву в перерахуванні на одиницю робочого, топкового об'єму) порівняно з установками інших типів.

Відносно високі експлуатаційні характеристики агрегату обумовлені принципом організації процесу плавлення в його робочому об'ємі. Газоповітряні пальники спеціальної конструкції розташовані в донній частині агрегату. Через пальники в робочий об'єм подається суміш газу й повітря (у співвідношенні, що дорівнює приблизно 1:10) при тиску не нижчому за $0,35 \dots 0,5$ кгс/см² ($0,035 \dots 0,05$ МПа).

Приготована шихта, котра подається в зону плавлення, плавиться в «киплячому» шарі в умовах надзвичайно інтенсивного перебігу процесів тепло- та масообміну. Ефективність процесу підвищується й у результаті того, що дуттьове повітря, яке спрямовується в пальник, нагрівається в повітрянагрівнику за рахунок використання тепла відхідних газів.

Отриманий розплав переміщується у фідер, котрий обігрівується газовими пальниками, де він «заспокоюється» та дегазується, а потім, через роздавальну льотку, подається на вузол переробки його у волокно. Робоча зона плавильного агрегату «одягнена» у водяну сорочку; для ізоляції повітрянагрівача, фідера та труби використовується високотемпературна вогнетривка цегла різної густини. Гарнісаж, що залишається на внутрішніх стінках зони плавлення, є додатковим теплоізолятором, який полегшує запуск агрегату після зупинки. Нагріта у водяній сорочці вода (різною мірою, залежно від витрати) може бути спрямована на охолодження або задіяна в тепловій схемі підприємства для різноманітних потреб.

На випадок аварійного відключення газу (і водночас повітря) передбачена подача пари через пальники, яка не тільки перешкоджає забиванню пальників розплавом, але й, остуджуючи розплав, поризує його, не дозволяючи перетворитися на моноліт і полегшуючи, таким чином, наступний запуск плавильного агрегату.

Окрім основних технологічних достоїнств агрегату — стабільне одержання розплаву з необхідним M_k , висока продуктивність, ефективне використання палива — слід відзначити нескладність виконання його зупинки й подальшого запуску.

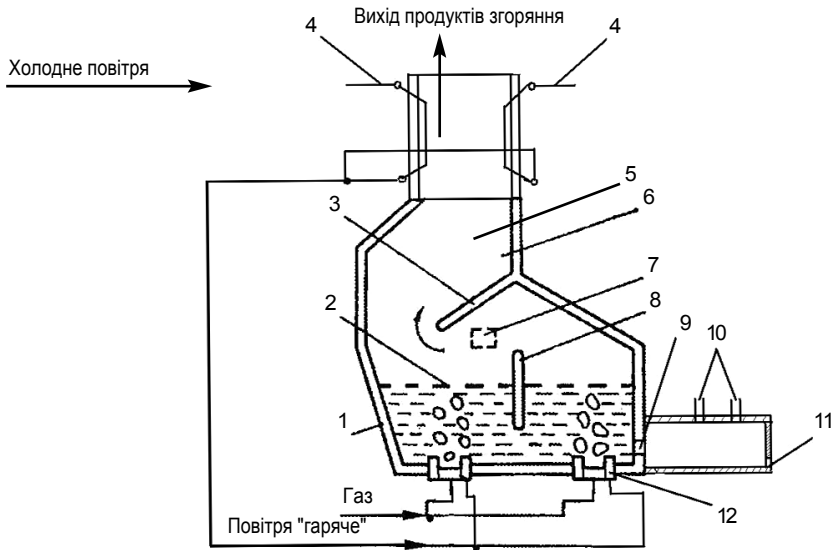


Рис. 16.8. Схема безкоксового плавильного агрегату конвертерного типу:

1 — корпус плавильного агрегату конвертерного типу з водоохолоджуваною оболочкою («сорочкою»); 2 — рівень розплаву в робочій ванні плавильного агрегату; 3 — водоохолоджувана перегородка між робочою та рекуперативною, яку охолоджують водою; 4 — подача дутьового «холодного» повітря у повітропідігрівач; 5 — повітропідігрівач; 6 — вихід продуктів згоряння у зону повітропідігріву; 7 — завантаження шихти (шлакобазальтової суміші); 8 — перегородка зон плавильної камери (охолоджується водою); 9 — вихід розплаву у подаючий фідер; 10 — газові пальники для підігріву розплаву у фідері; 11 — фідерподачі розплаву; 12 — вихід розплаву на переробку у волокно; 13 — погружний газо-повітряний пальник

Серйозними недоліками плавильного конвертера є його енергоємність, пов'язана з необхідністю забезпечення процесу потрібних параметрів, використання газу середнього тиску, необхідність водоочищення охолоджувальної води та висока, незважаючи на використання тепла на підігрівання повітря, температура відхідних газів (750...800 °С).

Плавильний агрегат розроблений Інститутом газу НАН України й до недавня експлуатувався на заводі мінераловатних виробів Київського комбінату «Будіндустрія».

З усуненням згаданих недоліків, в умовах організації ефективного використання технологічного тепла, агрегат має гарні перспективи застосування в різних галузях промисловості.

§17. Способи виробництва мінеральної та скляної вати

Способи переробки силікатного розплаву у волокно загального призначення, які сьогодні зазвичай застосовуються, можна згрупувати таким чином (рис. 17.1.):

- вертикальний та горизонтальний дуттьові — залежно від напрямку потоку пари, повітря або газу;
- відцентрово-валковий — якщо використовується відцентрова сила робочого органу (диска, чаші, валків) установки, на яку подається розплав;
- відцентрово-дуттьовий, який полягає в застосуванні відцентрової сили та дуття для формування струменя розплаву та витягування волокна;
- фільтерно-дуттьовий — при організованій подачі розплаву через пластини з отворами-фільтерами й подальшим роздуванням утворюваних струмін у волокно.

З перелічених способів волокноутворення найпоширенішими у виробництві мінерального волокна є відцентрово-валковий та відцентрово-дуттьовий. У виробництві штапельної теплоізоляційної скляної вати зазвичай користуються вертикально-фільтерним і горизонтальнофільтерним дуттьовими способами. Характеристики силікатної вати, одержаної внаслідок застосування різних способів килимоутворення (осадження волокна в спеціальній камері) наведені в таблиці 17.1.

Нижче поданий опис найпоширеніших способів отримання силікатної (мінеральної та скляної вати).

При парогазодуттьовому способі (рис. 17.1.а) розплав 3, який безперервно витікає з лютки 2 плавильного агрегату 1, роздувається у волокно струменем енергоносія, що надходить із дуттьової головки 4. Як енергоносієм тут використовується пара (розігрітий газ) під тиском до 0,6 МПа. Під дією енергоносія струмінь розплаву температурою 1300...1350 °С дробиться на дрібні часточки у вигляді струминок і крапельок, які частково (більшою мірою) витягаються у волокно, а частки випадають у воду у вигляді застиглих неволокнуватих включень — «корольків», котрі погіршують властивості волокнистого матеріалу. Отримане волокно переміщується в камеру волокноосадження для утворення килима та подальшої його переробки у виріб.

Переваги такого способу — простота й надійність роботи дуттьових головок; недолік — значна витрата енергоносія та відносно невисока якість вати.

Відцентрово-валковий спосіб (рис. 17.1.б) передбачає одержання мінерального волокна з розплаву під дією відцентрових сил, створюваних обертовими валками центрифуг. Залежно від кількості

валків, котрі переробляють розплав, центрифуги бувають одно-, дво-, три-, чотиривалкові й т.д., а за кількістю передач розплаву між робочими органами – поділяються на однота багатоступінчасті. Найбільше поширення дістали чотиривалкові центрифуги з водоохолоджуваними робочими валками, які обертаються з різною швидкістю.

Таблиця 17.1.

Основні властивості вати із силікатного волокна, отриманого різними способами^{*)}

Показник	Спосіб волокноутворення			
	дуттьовий (горизонтальний)	відцентрово-валковий	відцентрово-дуттьовий	вертикально-фільтрний дуттьовий
Середня Густина, кг/м ³	115	87	98	72
Вміст «корольків» розміром понад 0,25 мм, %	15,3	12,9	19,0	2,2
Теплопровідність, Вт/(м·К), при				
t=25 °С	0,043	0,043	0,044	0,035
t=100 °С	—	0,056	0,057	0,063
Середній діаметр волокна, мкм	6,2	6,5	8,0	7,8
Модуль кислотності	1,21	1,27	1,27	1,68
Вологість, % мас	0,7	0,5	0,7	1
Втрати розплаву при волокноутворенні, % мас.	19,7	27	23	—

^{*)} Наведені дані мають умовний характер. Характеристики волокон й одержаного килима значною мірою обумовлені досконалістю технологічного обладнання та рівнем організації процесу.

Розплав із плавильного агрегату подається через лютку на поверхню першого валка під кутом (30...40) °С до його горизонтальної осі. Роль першого валка — розщепити струмінь розплаву та передати його у вигляді безлічі струминок і часточок на другий валок, де й переробляється у волокно значна частина розплаву, що надходить на нього. Надлишок розплаву передається далі на третій валок, а четвертий – завершує процес волокноутворення.

Для віддування утворюваних волокон установлений спеціальний вентилятор, котрий здійснює цей процес через віддувні пристрої, зосереджені в окремій повітряній шафі, яка водночас є передньою стінкою камери волокноосадження. Волокна, що утворилися на валках, підхоплюються повітряним потоком і відносяться в камеру волокноосадження, де осаджуються на рухомому сітчастому конвеєрі. Застиглі неволокнуваті включення падають під центрифугу, звідки видаляються скребоквим або пластинчастим транспортером. Дрібні, «віддуті», застигли частки потрапляють у килим, погіршуючи якість вати.

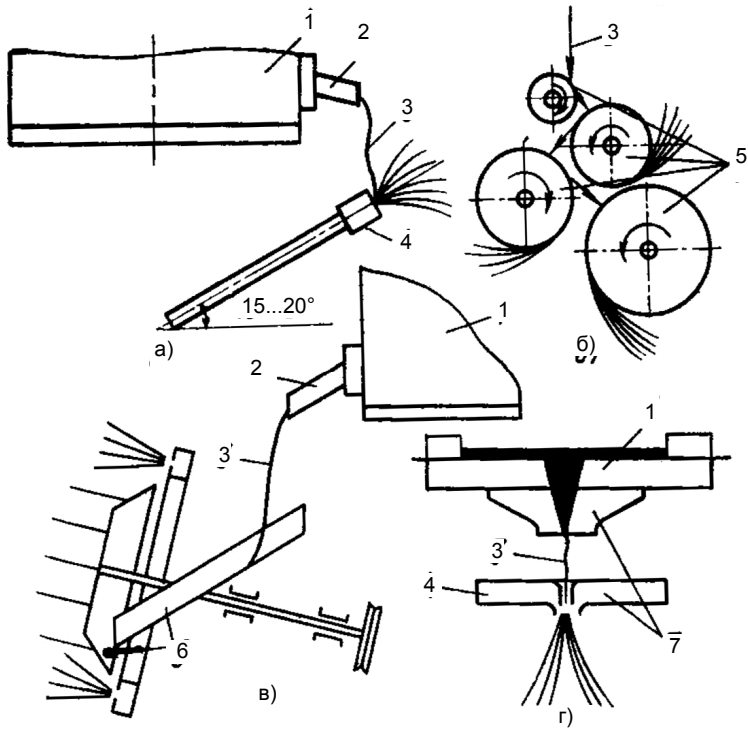


Рис.17.1. Схема способів переробки силікатного розплаву у волокно:

а — пародуттьовий, б — відцентрово-валковий, в — відцентрово-дутьовий, г — вертикальний фільтерно-дутьовий; 1 — плавильний агрегат, 2 — льотка плавильного агрегату, 3 — струмінь розплаву, 4 — дутьова головка, 5 — багатовалкова центрифуга, 6 — дутьова центрифуга, 7 — фільтерно-дутьовий пристрій

Відцентрово-валковий спосіб дає змогу одержувати продукцію високої якості при гарній організації процесів плавлення та волокнутворення. Проте багатовалкові центрифуги мають істотні недоліки – низька стійкість валків, громіздкість, складність експлуатації та ремонту. Відцентрово-дутьтовий спосіб (рис. 17.1.в) — комбінований спосіб виробництва мінерального волокна, який полягає в попередньому механічному відцентровому розщепленні основної струмини розплаву з подальшим витягуванням часточок розплаву у волокно під дією струменя енергоносія (пари або розігрітого повітря).

Розплав з льотки 2 плавильного агрегату 1 надходить на приймальний лоток 6 і стікає по ньому на внутрішню частину бічної обичайки роздавальної частини центрифуги. Коли чаша обертається, розплав рівномірно розподіляється по її периметру, утворюючи тонку плівку, яка під дією відцентрової сили зривається із країв чаші у вигляді окремих плівок, струминок і краплин. Останні підхоплюються потоком енергоносія й витягаються у волокна.

Енергоносій під тиском до 0,5 МПа випускається через сопла порожнистого дутьтового кільця, розташованого по периметру центрифуги.

Дутьтові центрифуги дозволяють одержувати вихід мінеральної вати до 75%. Вони є простими у виготовленні та експлуатації, тому дістали широке поширення у виробництві мінераловатних виробів. Продуктивність дутьтової центрифуги становить 1500...2500 кг/год за розплавом. Витрата пари на одну центрифугу коливається в межах 2...4 т/год.

Фільєрний вертикально-дутьтовий спосіб (рис. 17.1.г) застосовують для отримання волокна із силікатного розплаву ванних печей різного типу. Детальніше принцип організації такої переробки розплаву показаний на схемі рис. 17.2.

Розплав з фідера 1 ванної печі надходить у спеціальний фільєрний живильник 2, котрий обігрівается газом. Живильник зроблений із платинородієвого сплаву (93% платини, 7% родію); у днищі живильника розташовані циліндричні отвори – фільєри діаметром 1,8 мм кожний. Струминки розплаву 3, що виходять із фільєра, додатково роздуваються у волокно підігрітим до 300 °С стисненим повітрям або газоповітряною (суміш повітря з продуктами згоряння природного газу) сумішшю. Стиснене повітря (суміш) подається з дутьтової головки 4. Одержане волокно 5 осаджується на сітчастий конвеєр вертикальної камери волокнуосадження.

Пропускна здатність за розплавом одного фільєрного живильника — 100...150 кг/год. Кількість фільєра у живильнику, а також кількість живильників, визначаються потужністю плавильної установки.

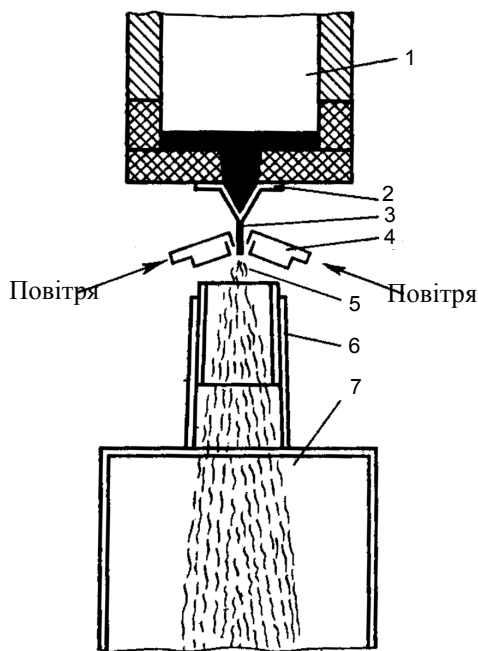


Рис.17.2. Схема вертикально-дутьової установки: 1 — фідер, 3 — струминки розплаву, 4 — дутьова головка, 5 — мінеральне волокно, 6 — дифузор камери волокноосадження, 7 — камера волокноосадження

Дутьова головка — один з основних пристроїв фільтрної установки. Вона виготовлена з жароміцної сталі та обладнана випускними отворами у вигляді прямолінійних розширних сопел Лавала. Плоскі струмені гарячого повітря (газу), що виходять із сопел, зустрічаються зі струминками розплаву під кутом $(10...11)^{\circ}$. У результаті їхньої взаємодії формується мінеральне волокно.

При цьому способі волокноутворення утворюється вата високої якості й практично відсутні відходи розплаву. Втім, значні енерговитрати на волокноутворення, а головне — використання кошовної платини для фільтрних живильників, обмежують можливості широкого застосування цього способу в мінераловатному виробництві.

§18. Особливості виготовлення базальтового надтонкого і скляного волокна (вати)

Базальтоне надтонке волокно одержують способом роздування первинного волокна (РПВ). Сировинною базою в Україні є базальти Берестовецького та Іванолинського родовищ Рівненської області, які містять, % мас.: SiO_2 — (49,5...50,5); Al_2O_3 — (5,5...14); TiO_2 — (1,1...1,6); Fe_2O_3 — (14,3...15,3); CaO — (8,5...9,8); MgO — (4,8...6,4); R_2O — (2,8...3,5); в.п.п. — (1...1,5). Для виготовлення волокна базальт подрібнюють у щєбінь.

Схема одного зі способів виробництва зображена на рис. 18.1.

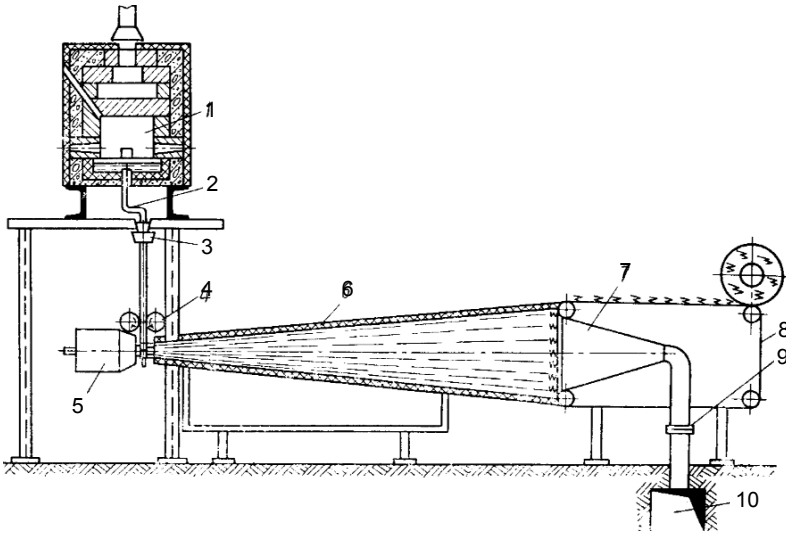


Рис. 18.1. Технологічна схема виготовлення базальтового надтонкого волокна: 1 — ванна піч; 2 — струменевий живильник; 3 — фільтрна посудина; 4 — погумовані валки; 5 — камера згоряння; 6 — дворукавний дифузор; 7 — приєднувальний патрубок; 8 — сітка конвеєра; 9 — регулювальний шибєр; 10 — підземний канал

Базальтовий щєбінь, що пройшов магнітну сепарацію, завантажують у ванну каменеплавильну піч прямого нагріву (найчастіше електричну), де базальт плавиться за температури 1400 °С. Басейн печі закінчується фідерними чашами із втулками для введення струминного живильника. Басейн обкладений магнєзійальною цеглою, фідерні втулки — каолінізованим шамотом. Пальникові блоки виготовлені з шамоту, проміжне склепіння — з

динасових блоків, стіни й перекриття газового каналу — із шамотної та насадкової цегли.

Із плавильного басейну печі розплав надходить у фідерну частину, звідки через платинородієвий струменевий живильник з окремим електропідігріванням витікає в платинородієву посудину з фільєрами діаметром (0,35...2) мм. Ця ємність призначена для підтримування, вирівнювання та регулювання температури розплаву, який надходить із печі, формування з нього первинних суцільних ниток.

Утворені нитки діаметром 200...250 мкм витягуються погумованими валками та подаються в зону сопла камери згоряння й роздування. Тут же під впливом газового потоку з $t = (1550...1600) ^\circ\text{C}$ за швидкості (250...350) м/с первинні волокна роздуваються у вкрай тонкі (0,5...2,0) мкм штапельні волокна.

Волокно, що утворилося після роздування, із продуктами згоряння, розведеними повітрям, через дифузорну камеру переміщається до сітки приймального конвеєра. Волокно осаджується на сітці, а продукти згоряння, пройшовши крізь сітку конвеєра в приєднувальний патрубок з регулюючим шибєром, прямують у загальний підземний канал, футерований нормальним шамотом, а далі, через газоочистку, у димар.

Осажене на сітці конвеєра волокно потрапляє на намотувальний барабан, де воно нагромаджується та формується в полотно.

Виробництво скляного мікрОВОлокна, на відміну від виготовлення базальтового надтонкого волокна, характеризується тим, що первинні волокна вводять уздовж напрямку руху потоку. Така організація РПВ виключає умови, які спричиняють поздовжнє згинання тонких первинних волокон унаслідок динамічного впливу газового потоку й тертя первинних волокон об обмежувальну пластину установки.

Хімічні складники скловолокна, % мас.:

■ тип I (нейтральний): SiO_2 — 70,65; Al_2O_3 — 2,69; Fe_2O_3 — 0,24; CaO — 8,14; MgO — 3,17; Na_2O — 14,7.

■ тип II: SiO_2 — 61; B_2O_3 — 3; Al_2O_3 — 7; Fe_2O_3 — 1,5; ZrO_2 — 5; CaO — 8; Na_2O — 12,7; R_2O — 1,8.

Поверхневий натяг при 1200...1300 $^\circ\text{C}$: I — 0,834 Н/м; II — 0,325 Н/м.

Вилугування: I — 14,77%; II — 4,5%.

Втрата в масі при кип'ятінні у воді, мг: I — 43; II — 14; за умови кип'ятіння в 1N розчині Na_2SO_4 : I — 38,8; II — 36; при кип'ятінні в 1N розчині NaOH : I — 10,62; II — 12,4.

Гідролітичний клас — IV та I. Верхня межа кристалізації, $^\circ\text{C}$: I — 1020; II — 850. Температура початку розм'якшення, $^\circ\text{C}$: I — 600; II — 605. Густина, г/см^3 : I — 2,52; II — 2,58.

На рис. 18.2. зображена схема виготовлення скляного мікроволоконна.

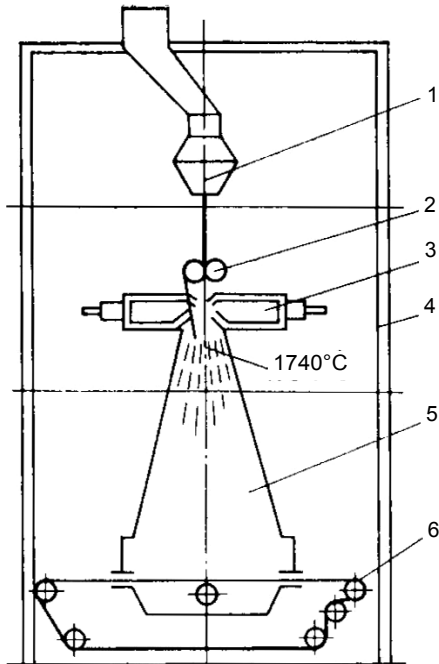


Рис. 18.2. Схема одержання скляного мікроволоконна способом РВП із введенням первинних волокон уздовж напрямку газового потоку 1 — електропіч; 2 — механізм витягування; 3 — двосекційна камера згоряння; 4 — рама установки; 5 — камера волоконоосадження; 6 — приймальний конвеєр

Двосекційна камера згоряння обладнана водоохолоджуваними соплами. Кут між напрямом осі сопла та первинними волокнами становить 8° , а співвідношення газу й повітря $L = (0,9...1,1)$. Первинні волокна діаметром $40...80$ мкм утворюються за швидкості подачі $11,8...12,0$ см/с, проте для виробництва мікроволокон діаметром до $0,5$ мкм первинні волокна діаметром $90...140$ мкм одержують при швидкості подачі $7,6...7,8$ см/с і більшій витраті енергоносія, для чого застосовують сопла інших розмірів й перерізу.

Залежність діаметра вторинних волокон від швидкості газового потоку, швидкості подачі та діаметра первинних волокон, а також витрати енергоносія відображена на рис. 18.3.

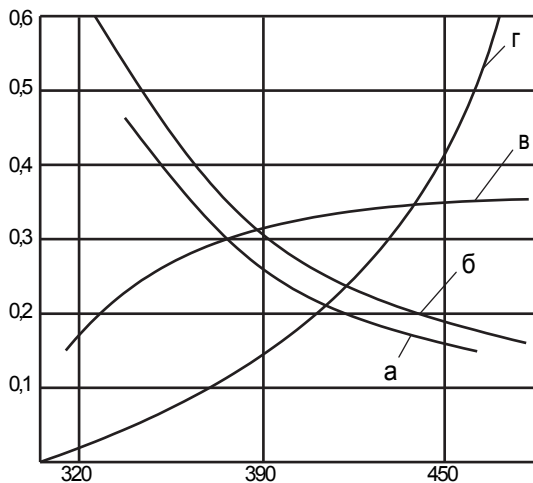


Рис. 18.3. Залежність діаметра вторинного волокна (мкм) від технологічних параметрів.

- а) Швидкість газового потоку, м/с б) Витрата енергоносія, г/с
в) Швидкість подавання первинних волокон, см/с
г) Діаметр первинного волокна, мкм*

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Дайте визначення поняття "силікатна вата".
2. Що таке "корольок" та його вплив на якісні показники мінеральної вати?
3. Назвіть відмінності технології виробництва безперервного та штапельного скляного волокна та наведіть їх основні характеристики.
4. За допомогою графіка залежності в'язкості розплаву мінеральної вати від температури (рис.14.1.) опишіть процеси виробництва мінеральної вати.
5. Чим обмежене широке застосування кислих вулканічних порід у виробництві мінеральної вати?
6. Що таке модуль основності?
7. Яким модулем кислотності характеризується стабільне довговічне мінеральне волокно?
8. Наведіть перелік сировинних матеріалів для виробництва скловати.
9. опишіть процес подрібнення матеріалів у щоккових та молоткових драбарках.
10. Наведіть типи плавильних установок для переробки силікатного розплаву та охарактеризуйте їх енергоефективність (за кількістю виробленого розплаву при витраті 1 кг умовного палива).
11. Охарактеризуйте основні типи найпоширеніших вагранок.
12. Які переваги мають ванні печі порівняно з вагранками?

13. Опишіть роботу безкоксового плавильного агрегата конвертерного типу.
14. Охарактеризуйте способи переробки силікатного розплаву у волокно.
15. Порівняйте основні властивості вати із силікатного волокна, отриманого різними способами.
16. Які особливості виготовлення надтонкого базальтового волокна?
17. Яка існує залежність діаметра вторинних волокон від швидкості газового потоку, швидкості подачі та діаметра первинних волокон?

Рекомендована навчально-методична література

1. Бутт Л.М., Василяускас, Вайткус И. и др. Справочник по производству теплоизоляционных материалов. Москва, Стройиздат, 1975. — 432 с.
2. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий, СИ, М., 1982. — 376 с.
3. Горлов О.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов, Москва, Стройиздат, 1980. — 398 с.
4. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ:ТОВ УВПК "Екс ОБ", 2004. — 704 с..
5. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К., Барановский В.Б., Кочевых М.А., Гасан Ю.Г., Константиновский Б.Я., Ракша В.А., Строительное материаловедение, «Основа», Киев, 2007. — 704 с.
6. Сухарев М.Ф., Майзель И.Л., Сандлер В.Г., Производство теплоизоляционных материалов, М.: Высшая школа, 1981. — 231 с.

РОЗДІЛ IV.
ТЕПЛОЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ
З СКЛЯНОЇ ТА МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ

§19. Загальні умови виробництва

Волокна, які утворилися в результаті переробки розплаву, формуються в килим в камері волокноосадження. Для одержання високоякісних виробів необхідно, щоб волокнистий килим був рівномірним за шириною, довжиною та густиною.

Залежно від способу волокноутворення камери волокноосадження можуть бути горизонтальними, вертикальними та барабанными.

Більшість технологічних ліній, в яких застосовують відцентрово-валковий, відцентрово-дутьтовий і дутьтовий способи волокноутворення, обладнані горизонтальними камерами волокноосадження.

Горизонтальна камера виконана у вигляді металевої конструкції прямокутного перерізу з габаритами, котрі залежать від продуктивності плавильного агрегату (зазвичай у межах $L \times V \times H = 10 \text{ м} \times 2 \text{ м} \times 3,5 \text{ м}$). Корпус камери теплоізолюваний. У нижній частині уздовж усієї камери проходить сітчастий конвеєр, на якому осаджуються волокна та формується килим. У процесі формування килим на виході з камери ущільнюється підпресувальним роликком і виводиться з камери для подальшої переробки у вироби.

Повітря, гази чи пароповітряна суміш, які використовують для видування волокна, видаляються з камери за допомогою вентилятора-димососа. Пристрій для забирання газів розташований нижче від приймальної сітки конвеєра, тому в камері підтримується необхідне розрідження, що й сприяє осажденню волокон та формуванню килима належної густини, а також перешкоджає потраплянню волокон і газу в робоче приміщення.

Швидкість руху сітчастого конвеєра регулюється в досить широких межах (як правило, від 0,3 до 3,5 м/хв.), що дозволяє, залежно від продуктивності плавильного агрегату, підтримувати потрібну товщину утворюваного килима. Під час виготовлення мінераловатних виробів до камери волокноосадження вводиться синтетичне зв'язуюче або добавки для знепилювання волокон, котрі перебувають у суспендованому стані.

Зв'язуючі (найчастіше — водні розчини феноло-формальдегідної смоли), а також знепилювальні добавки (водна емульсія емульсолу, мінеральні олії тощо) розпилюються в камері за допомогою форсунок, сопел різної конструкції, пристроїв у порожнистих валах центрифуги.

Вертикальні камери волокноосадження, як уже зазначалося, застосовують при фільтрному вертикально-дутьтовому способі переробки розплаву на волокно. До складу такої камери відносять дифузори (залежно від кількості фільтрних шпательів), вертикальну камеру (шахту), сітчастий конвеєр, камеру відсмоктування та відсмоктувальний вентилятор-димосос. Волокно від фільтрного шпателя через дифузор прямує до шахти й осідає на сітчастому конвеєрі, під яким відсмоктувальним вентилятором-димососом створюється розрідження.

Фільтрний вертикально-дутьтовий спосіб переробки розплаву у волокно й осадження волокна забезпечує отримання рівномірного мінераловатного килима.

У камерах *волокноосадження барабанного типу* волокна осідають на перфоровану поверхню металевого барабана ($D \approx 2000$ мм), частота обертання якого регулюється залежно від необхідної товщини мінераловатного килима. Осадження волокон на поверхні барабана відбувається за рахунок розрідження, створюваного всередині барабана димососом. Утворений шар вати передається на прилеглий до барабана плоский горизонтальний сітчастий конвеєр, з якого він попадає на подальшу переробку. Барабанні камери здебільшого працюють із багатовалковими центрифугами. Зв'язуюча або знепилювальна добавка подаються в мінераловатний килим через порожнисті вали (зазвичай 2...3) центрифуги. Такі камери компактні, надійні в експлуатації, але не спроможні забезпечити одержання мінераловатного килима однакової густини по ширині та довжині.

§20. Види, основні властивості та сфера застосування виробів з мінеральної і скляної вати

Споживання тепло- та звукоізолювальних матеріалів і виробів на основі мінеральної та скляної вати постійно зростає. Це спричинено необхідністю розв'язання проблем енергота ресурсозбереження й, зокрема, теплоізоляції житлових будинків і громадських приміщень.

У балансі використання теплоізоляції, що склався на сьогодні, близько 65...70% матеріалів застосовуються в огороджувальних конструкціях, у монтажній ізоляції споживається приблизно 15...17%, на теплоізоляцію й енергетичні трубопроводів витрачається 8...10%, на звукоізоляцію й енергетичні потреби припадає 4...5% і на холодильну промисловість — майже 0,6%.

Ізоляційні вироби з мінеральної, скляної, базальтової та інших видів вати класифікують за такими ознаками: за структурою – пористо-волокнисті; за формою — поштучні (плити, циліндри, півциліндри, сегменти), рулонні (мати, смуги), шнурові (шнури, джгути) та сипкі або

насипні (гранульована вата); за видом основної сировини – неорганічні; за стисливістю (відносно деформацією стиску під питомим навантаженням 0,002 МПа) — м'які М — (стисливість понад 30%), напівжорсткі НЖ — 6...30% та жорсткі Ж і підвищеної жорсткості ПЖ — до 6%; за середньою густиною — надлегкі (до 100 кг/м³) та легкі (125...350 кг/м³); за теплопровідністю — малотеплопровідні А (не більш ніж 0,058 Вт/м·К) і середньотеплопровідні Б (не більш як 0,1163 Вт/м·К) за температури 25 °С.

Крім того, у назві виробів, окрім розпізнавальної ознаки за формою, густиною та стисливістю, зазвичай відображають вид волокна та зв'язуючого (синтетичне, бітумне, мінеральне).

Основні види та властивості теплозвукоізоляційних матеріалів з мінерального волокна наведені в таблиці 20.1.

Таблиця 20.1.

Види та властивості теплоізоляційних матеріалів

Види виробів	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/м·К, за t, °С		Вміст зв'язуючого, %	Стисливість, %	Гранична температура застосування, °С	Межа міцності при розриві уздовж волокон
		25±5	125±5				
Пухкі Вата: мінеральна	75-125	0,042-0,046	0,058-0,062	—	—	600	—
гранульована мінеральна	80-125	0,047	—	—	—	600	—
скляна, із суцільного волокна	75-125	0,038	—	—	—	450	—
з надтонкого скляного волокна	25	0,033	—	—	—	450	—
з надтонкого базальтового волокна	17-25	0,041	—	—	—	700-900	—
Базальтові звукобірні маси (засипка)	25	Реввербераційний коефіцієнт звуковбирання за 500-2000 Гц – (0,7-0,95)			—	600	—
Пошутчні							
Плити мінераловатні:							
м'які, на бітумному зв'язуючому	600-1000	0,047	—	4,2	55	60-200	0,1
напівжорсткі, на бітумному зв'язуючому	150-200	0,052	—	16,7	27	60-200	—
жорсткі, на бітумному зв'язуючому	200-350	0,058	—	17,3	5	70	1,0-1,3
м'які, на синтетичному зв'язуючому	35-75	0,049	0,057	3,2	30	400	0,18

Таблиця 20.1. (Продовження)

Види виробів	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/м·К, за t, °С		Вміст зв'язуючого, %	Стисливість, %	Гранична температура застосування, °С	Межа міцності при розриві уздовж волокон
		25±5	125±5				
напівжорсткі, на синтетичному зв'язуючому	100-125	0,049	0,072	4,1	20	400	—
жорсткі, на синтетичному зв'язуючому	150-200	0,051	0,070	5	6	400	—
підвищеної жорсткості, на синтетичному зв'язуючому	200-400	0,064	—	0,2	0,8-0,2	60	при згинанні 4,8
на крохмальному зв'язуючому	105-200	0,058	—	2,4	15	400	—
акустичні ПА	Ревербераційний коефіцієнт звуковбирання від 0,05 до (0,4-0,8) за частот 125-800 Гц					400	—
акмігран, акмініт	51-75	0,047	—	—	10	180	при вигині 0,9-1,3
Плити зі скляного волокна:							
напівжорсткі типу НЖ зі скляного штапельного волокна	51-75	0,047	—	—	10	180	—
Напівциліндри – циліндри:							
напівциліндри на синтетичному зв'язуючому	150-250	0,052-0,056	0,075	4,0-4,5	—	300-400	0,37
Рулонні та шнурові:							
Мати:							
прошивні	100-175	0,047	0,063	—	—	60	—
вертикальношару вати (гофровані) на синтетичному зв'язуючому	150-200	0,052	—	4-6	1,94	400	за 10%ого стиску 0,11-0,15
зі скловолокна, у т.ч. армовані сіткою	80-200	0,037-0,041	0,057 (армов.)	—	—	450-600 (армов.)	—
зі штапельного волокна	35-70	0,047	—	—	40	180	—
Шнур мінераловатний	200-250	0,058-0,07	0,061	—	—	150-600	—
Полотно з базальтового волокна	15-20	0,041	—	—	—	700	—
Картон листовий з базальтового волокна на мінеральному зв'язуючому	1350-1500	0,07-0,1	—	—	—	900-1200	—
Джеут зі скляних волокон	50-90	0,052	—	—	—	180	—

Тепло- та звукоізоляційні матеріали з мінерального і скляного волокон широко використовуються в будівництві житлових і громадських споруд для ізоляції несучих стін, перегородок, стель, підлог, переkritтів, а також у промисловості – для ізоляції обладнання, теплових і холодильних агрегатів тощо.

Для утеплення огорожуючих несучих стін застосовують, залежно від затвердженої системи утеплення, плити м'які, напівжорсткі, жорсткі та підвищеної жорсткості. Для утеплення підлоги (залізобетонних переkritтів) переважно використовують тверді плити з армуванням.

У промисловості повсюдно застосовують поштучні й рулонні вироби з різних видів волокон (з урахуванням температурного діапазону експлуатації) для ізоляції як холодильників, так і високотемпературних печей, котлів, сушильних барабаних установок та інших агрегатів, котрі працюють в інтервалі температур від (-100) °С до 1200 °С. Для ізоляції трубопроводів призначені мати в рулонах, смуги, напівциліндри, сегменти.

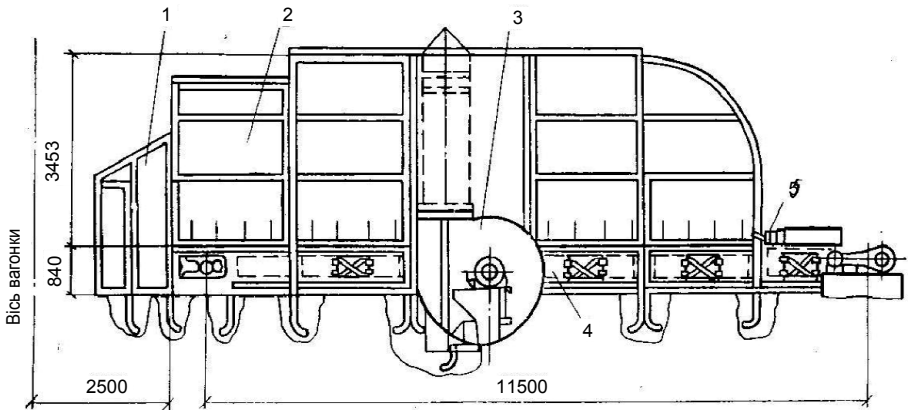
Ці вироби порівняно з пухкою мінеральною ватою мають неабиякі переваги: вони містять менше неволокнистих включень, легше й компактніше упаковуються і транспортуються, мають незмінну форму та необхідну для експлуатації міцність. Різні зв'язуючі речовини надають їм розмаїття властивостей і визначають сферу використання волокнистих ізоляційних матеріалів.

§21. Формування волокнистого килима

Для виготовлення якісних силікатно-волокнистих виробів необхідно одержати волокнистий килим однаковою густиною по довжині та ширині. Формування такого килима відбувається в камерах волокноосадження. Об'єм і форма камер обумовлюються аеродинамічними та теплотехнічними умовами утворення й осадження волокон. Залежно від напрямку струменя енергоносія під час роздування силікатного розплаву камери волокноосадження можуть бути горизонтальними або вертикальними.

Більшість підприємств з виробництва волокнистих виробів, на яких застосовуються відцентрово-дутьвовий та відцентровий способи волокноутворення, обладнані горизонтальними камерами волокноосадження (рис. 21.1) різної конструкції завдовжки 12...18 м (залежно від продуктивності плавильного агрегату) і завширшки приблизно 2 м. Утворене волокно під дією потоку дутьвового агента (повітря, пароповітряної суміші) через камеру приєднання потрапляє до камери волокноосадження. Камери мають прямокутний переріз і складаються з металевого каркаса відповідної конфігурації, обшитого листовою сталлю з теплоізоляцією 2. У нижній частині

камери по всій її довжині проходить сітчастий конвеєр 4, на якому відбувається збирання осаджених волокон, формування килима та виведення його з камери. Рівномірність осідання волокон по довжині й ширині внутрішньокамерного транспортера зумовлена аеродинамічними умовами камери та впливом потоку, котрий створюється вентилятором-димососом 3, який відсмоктує повітря (пароповітряну суміш) з камери на рівні, розташованому нижче від сітчастого транспортера-конвеєра. Для ущільнення волокнистого килима, що виходить із камери, в її кінці розміщується підпресувальний ролик 4.



*Рис. 21.1: Камера волокноосадження горизонтального типу:
 1 — вхід в камеру волокноосадження (камера приєднання);
 2 — металевий каркас корпусу камери з теплоізоляцією;
 3 — вентилятор – димосос; 4 — сітчастий конвеєр;
 5 — підпресувальний ролик*

Щоб запобігти потраплянню волокон і газів до приміщення цеху, в робочому об'ємі камери підтримується незначне розрідження (10...30 мм вод. ст.). З цією ж метою, а також для виключення підсмоктування довколишнього повітря, камера герметизується. Відпрацьоване повітря камери повинне очищуватися від мінерального пилу установкою водних скрубєрів. Металеву сітку конвеєра камери волокноосадження для уникнення порушення рівномірності відсмоктування очищають за допомогою спеціальних пристроїв.

У камері здійснюється також знепилювання волокон, котрі перебувають у суспендованому стані, шляхом обприскування їх водними емульсіями різних олій та їхніх похідних, продуктів переробки нафти тощо. При виготовленні виробів на синтетичному

чи бітумному зв'язуючому камери волокноосадження обладнують форсунками для розпилювання зв'язуючих речовин.

При фільтрному вертикально-дутьовому способі волокноутворення застосовують вертикальні камери волокноосадження. Одержане з розплаву волокно через дифузор надходить до камери й осідає на приймально-формувальний конвеєр. Схема вертикальної камери волокноосадження показана на рис. 21.2.

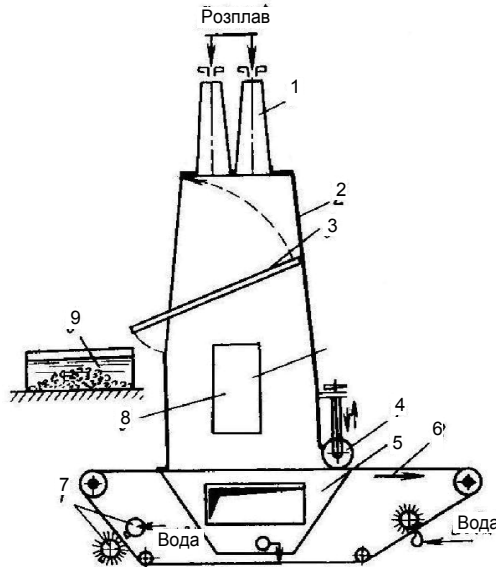


Рис. 21.2. Конструктивна схема вертикальної камери волокноосадження:

- 1 – дифузор; 2 – шахта; 3 – відкидний зливальний лоток; 4 – ущільнювальний валик; 5 – камера відсмоктування;
- 6 – перфорований або сітчастий конвеєр; 7 – очищувальна щітка та змивальна гребінка; 8 – технологічний отвір для очищення; 9 – ємність для зливання розплаву

Після отримання мінераловатного килима формування з нього виробів здійснюється різними способами. Найпоширенішими з них є два:

- «сухий» спосіб, за яким на волокна, котрі утворюють килим, наноситься, тим чи іншим способом, зв'язуюче. Це основний спосіб виробництва більшості видів волокнистих ізоляційних матеріалів;
- «мокрый» спосіб виготовлення виробів зі спеціально приготовленої гідромаси.

Ефективність виробництва виробів за «сухою» технологією напряму залежить від способу нанесення зв'язуючого.

§22. Нанесення зв'язуючого на волокно («сухий» та «мокрый» способи)

При виготовленні продукції із силікатного волокна за так званою «сухою» технологією, для формування структури та збереження форми виробів використовують різноманітні мінеральні й органічні зв'язуючі речовини. Кількість зв'язуючого у виробках (за сухим залишком) залежно від виду та призначення коливається, найчастіше, у межах від 3 до 12%. В умовах так званої «мочної» технології килим формується з гідромаси — суміші переробленого волокна та водної емульсії органічного в'язуючого.

У виробництві волокнистих теплозвукоізоляційних матеріалів найбільшого поширення набуло органічне зв'язуюче. Як зв'язуюче (у послідовності за обсягом використання) застосовують синтетичні смоли (переважно феноло-формальдегідні), нафтові бітуми різних марок і крохмаль (для високоякісних звукоізоляційних матеріалів).

Якість готової продукції значною мірою обумовлюється способом введення (нанесення) зв'язуючої речовини. Вибір способу нанесення, у свою чергу, залежить від хімічної природи (виду) зв'язки та технологічної організації виробництва волокнистих ізоляційних матеріалів.

22.1. Синтетичні зв'язуючі речовини та способи введення їх у волокнистий килим

У виробництві виробів з мінеральної та скляної вати використовують здебільшого органічні зв'язуючі речовини. Вони скріплюють волокна одне з одним, а в деяких випадках частково заповнюють пори килима, у результаті чого, після затвердіння зв'язуючого, отримують виріб з потрібними властивостями — заданими густиною, міцністю, пружністю, вологостійкістю.

У м'яких і напівжорстких виробках затужавіле зв'язуюче скріплює волокна переважно в місцях їхнього взаємного перетинання й дотикання, унаслідок чого вироби зберігають пружність, що визначається пружністю самих волокон.

У жорстких, підвищеної жорсткості та твердих виробках взаємне переплетення волокон обмежується не тільки густиною упаковки у виробі, скріпленням їх зв'язуючою речовиною між собою лише в місцях контакту, але й наявністю зв'язуючого разом із неволокнистими включеннями в порах волокнистого килима. Усі ці чинники сприяють жорсткій фіксації та вельми незначній можливості вільних переміщень усередині матеріалу, а отже, й обумовлюють його низькі деформаційні характеристики.

Під час вибору зв'язуючого враховуються його адгезійні й когезійні властивості, нетоксичність, недефіцитність та вартість. На якість виробів істотно впливає спосіб введення зв'язуючого у волокнисту масу, а також ефективність його потрапляння на поверхню волокон. Залежно від виду та призначення виробів у виробництві волокнистих теплозвукоізоляційних матеріалів застосовують такі способи нанесення зв'язуючого:

- диспергування зв'язуючого в камері волокноосадження;
- поливання (проливання) мінераловатного килима з подальшим віджиманням і вакуумуванням;
- механічне перемішування гідромаси в змішувачі;
- пошарова пульверизація зв'язуючого на мінеральну вату;
- просочування парів зв'язуючого крізь мінераловатний килим.

В усіх випадках частина зв'язуючого втрачається. За допомогою диспергування, пульверизації та просочування зв'язуючого здебільшого одержують рулонні матеріали (мати), м'які й напівжорсткі плити. Способом проливання та перемішуванням гідромаси виготовляють жорсткі та тверді вироби. У цих випадках забезпечується значне збільшення кількості зв'язуючого в масі й підвищення рівномірності його розподілу. Водночас зростають вологість відформованих плит та їхня густина.

Як зв'язуюче найчастіше використовують фенолоспирти різних марок (феноло-формальдегідне зв'язуюче), інколи застосовують композиції з фенолоспирту та полімеру (полівінілацетатної дисперсії). Фенолоспирти з уротропіном зазвичай використовують при просочуванні килима й гарячому пресуванні. Композиції фенолоспирту та хлоропренового латексу довговічніші за інші зв'язуючі речовини. Під час виготовлення плит підвищеної жорсткості з гідромаси використовують також водостійку сечовино-фурилову смолу.

Карбамідна смола — продукт конденсації сечовини з формальдегідом — а також композиційне зв'язуюче з фенолоспирту та карбамідної смоли, менш токсичне при термообробці, ніж карбамідна смола, можуть застосовуватися у виробництві мінераловатних виробів, проте вони не набули достатнього поширення.

Композиційне зв'язуюче з карбамідної смоли та бітумної емульсії так само, як і органофосфатне зв'язуюче, використовують при виготовленні мінераловатних плит підвищеної жорсткості з гідромаси.

Зв'язуюче з водної емульсії фенолоспирту й алкідної смоли, нейтралізоване сульфатом амонію в суміші з аміаком, застосовується при виготовленні виробів зі штапельного волокна, яке одержують відцентрово-фільєрно-дутьтовим (ВФД) способом.

У ролі зв'язуючого придатними є також нафтові бітуми БН різних марок, насамперед для мінераловатних жорстких плит.

Крохмальне зв'язуюче найчастіше використовують для звуковбирних лицевальних мінераловатних плит (типу «акмініт» та «акмігран»). Концентрація крохмалю у зв'язуючому становить 5...10%. Окрім крохмалю, до складу зв'язуючого входять каолін і добавки парафіну й борної кислоти.

Синтетичні полімерні зв'язуючі, котрі застосовують у виробництві мінераловатних і скловолкнистих виробів, є дефіцитними й досить дорого коштують. Тому там, де це можливо, вони замінюються мінеральними в'язучими (глиняними, цементними, гіпсовими), властивості яких можна поліпшити за рахунок підвищення адгезійної здатності зв'язуючого до волокна. Більш того, у деяких випадках вироби на мінеральному зв'язуючому набувають нових властивостей (наприклад, теплостійкість), а отже, й дістають нові сфери використання.

22.1.1. Нанесення зв'язуючого пульверизацією (розпиленням)

За першим способом розчин зв'язуючого розпиляють спеціальними паровими соплами, повітряними чи механічними форсунками в камеру волокноосадження. Від вибору типу розпилювача, розташування розпилювальних пристроїв залежить ефективність процесу змочування волокон і, в кінцевому підсумку, якість продукції.

Широко вживається в мінераловатному виробництві розпилення розчину зв'язуючого безпосередньо у факел роздування волокна через колектор або порожнистий вал відцентрово-дутьвової установки волокноутворення (рис. 22.1.).

Як видно з рисунка, на внутрішню поверхню зварної чаші, що охолоджується водою центрифуги (1,2), подається розплав, чаша насаджена на порожнистий вал, через який приготовлений розчин зв'язуючого виливається на чашу розпилення (3) і, під дією відцентрової сили, розпиляється в робочий об'єм камери волокноосадження.

В умовах відцентрового способу волокноутворення зв'язуюча речовина надходить крізь порожнистий вал одного чи двох валків багатовалкової центрифуги.

За високої якості зв'язуючого та технологічного рівня приготування його розчину (відсутність домішок, суспензій, коагулянтів тощо), найефективнішим є спосіб введення зв'язуючої речовини через групу форсунок механічного розпилю, розташованих таким чином, щоб одержати якнайповніше використання приготовленого зв'язуючого при мінімальних втратах, що вкрай важливо не тільки через його високу вартість, а й з точки зору екології.

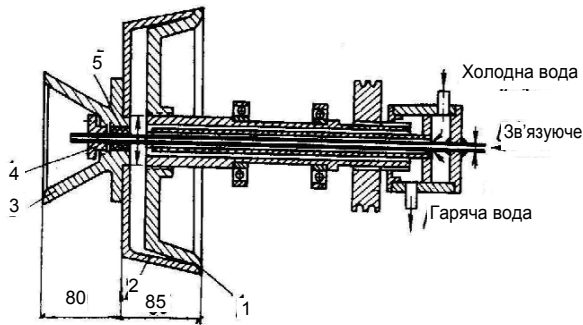


Рис. 22.1. Схема розпилення зв'язуючого через порожнистий вал центрифуги при застосуванні відцентрово-дутьового способу волокноутворення:

1,2 – зварна чаша центрифуги що охолоджується водою; 3 – чаша розпилення зв'язуючого; 4 – кришка сальника; 5 – шайба.

У цьому випадку для забезпечення рівномірного розподілу зв'язуючого в килимі та зменшення втрат за рахунок потрапляння розчину на стінки камери волокноосадження найоптимальнішим є розміщення форсунок на відстані 1,5...2,5 м від вузла волокноутворення під кутом (15...30)° до осі камери.

При введенні зв'язуючого в мінераловатний килим способом пульверизації воно, змочуючи волокна, перебуває в килимі у вигляді крихітних краплин, які втримуються силами поверхневого натягу як на окремих волокнах, так і на перетинах (схрещеннях) волокон, скріплюючи їх між собою. Тому, що дрібнішими є краплини, й що рівномірніше вони розподілені по всьому об'єму килима, то кращим є зчеплення волокон і вища якість продукту.

За кордоном повсюдно використовується спосіб розпилення розчину зв'язуючого в камері волокноосадження під тиском 7...15 МПа. Завдяки високій диспергації робочого розчину при цьому досягається рівномірний розподіл зв'язуючого в килимі та неабияке зниження витрат зв'язуючої речовини.

22.1.2. Нанесення зв'язуючого методом поливання

Спосіб нанесення зв'язуючого методом поливання (проливання) з подальшим вакуумуванням (рис. 22.2.) застосовується здебільшого при виробництві твердих плит і заготовок для звуковбирних плит.

Уведення розчину зв'язуючого, який подається помпою 7 з басейну 6, у сформований мінераловатний килим здійснюється поливанням з жолоба ванни 1 у ще пухкий (перед віджимним підпресувальним валом 2) килим 3. Надлишок зв'язуючого

проливається в піддон 5. Під килимом розташований патрубок 4, з'єднаний з повітряним простором закритого басейну для зв'язуючого 6. У повітряному просторі за допомогою ексгаустера (вакуум-помпи) створюється вакуум, завдяки якому відсмоктується зайве зв'язуюче, і килим набуває потрібної густини. Густина килима регулюється глибиною вакууму.

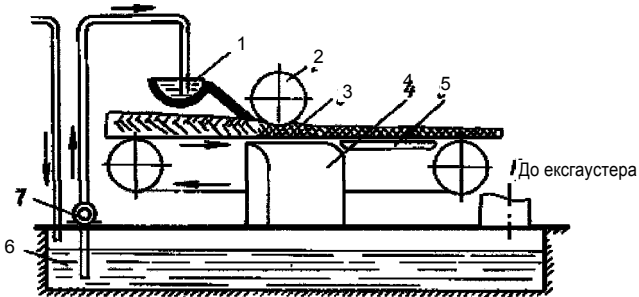


Рис. 22.2. Схема вузла просочування мінераловатного килима розчином зв'язуючого (нанесення поливанням):

1 – ванна з жолобом 4; 2 – віджимний вал; 3 – мінераловатний килим; 4 – патрубок злива віджатого зв'язуючого; 5 – піддон; 6 – басейн для зв'язуючого; 7 – подаючий насос

Цей метод забезпечує більш рівномірне просочення килима за мінімальної витрати зв'язуючого. Головний його недолік — велика залишкова вологість килима (50...100%), що призводить до необхідності дещо вищих енерговитрат на термообробку (більша тривалість).

Нанесення синтетичного зв'язуючого на волокно методом занурення в мінераловатному виробництві широкого поширення не набрало. Зазвичай цим способом виготовляють зразки мінераловатних виробів у лабораторних умовах. Недоліком цього методу, поряд із чималою залишковою вологістю, є забруднення конвеєра зв'язуючою речовиною з усіма відповідними наслідками (збільшення витрати зв'язуючого, втрати, поломки та погіршення експлуатаційних умов, високі енерговитрати на термообробку).

22.2. Нанесення бітумного зв'язуючого

Бітум при виготовленні мінераловатних виробів (м'яких і напівжорстких плит) використовується як зв'язуюче значно рідше, ніж синтетичні зв'язуючі матеріали. На виробництво він подається розігрітим до температури 140...150 °С спеціальними трубопроводами, що обігріваються (у паровій сорочці).

Зберігається бітум в ємностях, котрі обігриваються. Вони розміщуються на спеціально виділеній території підприємства.

Виготовляючи плити на бітумному зв'язуючому, розплавлений бітум вводять у мінераловатний килим шляхом примусового подавання його в паропровід вузла роздування або самопливом (дозувальною помпою) на паровий струмінь роздування розплаву.

У виробництві плит застосовують нафтові бітуми з температурою розм'якшення не нижчою за 70 °С.

Зі збільшенням вмісту бітуму в мінераловатному килимі при підвищенні температури килима на виході з камери волокноосадження понад 90...95 °С він може зайнятися. Для запобігання загорянню килима до камери через окреме сопло вводиться розпилена вода (приблизно 200...600 кг на 1 т мінеральної вати залежно від технологічних умов).

22.3. Нанесення крохмального зв'язуючого

При випуску виробів на крохмальному зв'язуючому, окрім вищезгаданої, може використовуватися емульсія такого складу (мас. %): крохмаль (9,5) — мазут (2,4) — парафін (0,7) — вода (87,7).

Для приготування емульсії крохмального зв'язуючого в бак з мішалкою заливають воду та засипають крохмаль. Невпинно перемішуючи, нагрівають воду до температури 75...80 °С до утворення густого клейстеру. Після цього в бак додають розплавлений парафін і мазут, продовжуючи перемішування до утворення однорідної маси. Одержану емульсію через дозувальний пристрій нагнітають у паропровід, котрий спрямовує пару до вузла волокноутворення (центрифуги). Зв'язуюче разом із парою подається на утворювані мінеральні волокна. З камери волокноосадження мінераловатний килим направляють на теплову обробку.

22.4. Приготування гідромаси («мокра» технологія виробництва мінераловатних виробів)

При виготовленні жорстких плит на бітумному зв'язуючому застосовується «мокрый» спосіб виробництва, за якого волокна мінеральної вати змішуються з бітумною емульсією й утворюють гідромасу, котра складається з води та компонентів, які входять до складу зв'язуючого.

До складу емульсії в якості зв'язуючих матеріалів входять, окрім суміші бітумів однієї чи кількох марок, у варіантних співвідношеннях (залежно від використовуваної композиції), також каніфоль, каолін (або глина), діатоміт (чи трепел), гашене вапно, їдкий натр, гас.

Зв'язуючі композиції (емульсії) готують, виходячи зі складу, з диспергатором або без нього, у звичайній мішалці. Отримана концентрована емульсія розбавляється водою до «робочої» концентрації 2...3%. Приготована «робоча» емульсія надходить у змішувач гідромаси, де змішується з розпушеною в волокна мінеральною ватою.

Гідромаса повинна мати співвідношення вата/вода від 1/9 до 1/10. Приготовлена гідромаса подається у формувальну установку (відливний стіл), де з неї формують плити.

§23. Формування виробів

Формувати вироби із силікатного (мінераловатного) волокна можна різними способами.

З них найпоширенішими у виробництві волокнистих теплозвукоізоляційних матеріалів є такі:

- безперервне пресування на конвеєрних лініях;
- пресування заготовок в установках гарячого пресування;
- формування плит з гідромаси підпресуванням з подальшим вакуумуванням;
- виливання полотна з пульпи.

М'які, напівжорсткі та жорсткі плити ($\rho \geq 80...150 \text{ кг/м}^3$) на синтетичному зв'язуючому формують у камерах теплової обробки. Конструкція камери передбачає ущільнення до необхідних параметрів (товщина, ступінь жорсткості) просоченого зв'язуючою речовиною волокнистого килима, котрий проходить між верхньою та нижньою стрічками конвеєра (транспортера). Збереження потрібної форми виробів забезпечується поліконденсацією (тужавленням) зв'язуючого як наслідок продування теплоносія крізь просочений волокнистий килим.

На більшості підприємств з виробництва волокнистих ізоляційних матеріалів установлені камери теплової обробки (сушіння й поліконденсації) з низькими значеннями питомого тиску конвеєрних сіток на килим, який через них проходить (не більш ніж 2...4 кПа). На таких лініях випускаються виключно м'які та напівжорсткі плити ($\rho \geq 80...125 \text{ кг/м}^3$).

Удосконалені камери теплової обробки з підсиленими вузлами пресування (напрямні ролики, транспортерна сітка або перфорована стрічка) забезпечують досягнення величини питомого зусилля підпресування до 6 кПа й вище, якого цілком достатньо для виробництва жорстких плит ($\rho \geq 150 \text{ кг/м}^3$).

Для виготовлення на конвеєрних лініях *плит підвищеної жорсткості* ($\rho = 200-225 \text{ кг/м}^3$) у лінію зі зміцненою конструкцією

конвеєра може бути встановлений спеціальний механізм підпресування волокнистого килима (рис. 23.1.).

Механізм розміщується перед камерою теплової обробки. Він складається з кількох пар підпресувальних валиків, котрі забезпечують попереднє ущільнення килима на 15...20% більше за нормовану товщину виробу (плити), знижуючи, таким чином, питомий тиск килима на стрічки конвеєрів камери теплової обробки.

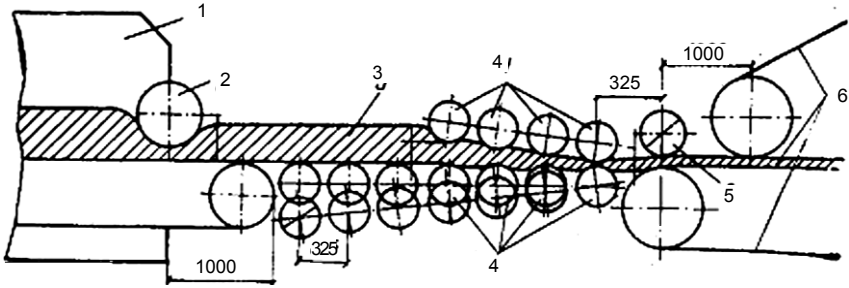


Рис. 23.1. Схема механізму підпресування волокнистого килима перед камерою теплової обробки:

1 – вихід з камери волокноосадження; 2 – підпресовочний барабан; 3 – мінераловатний килим; 4 – валики підпресовки; 5 – підпресовочний ролик; 6 – конвеєри камери теплової обробки

Мінераловатні шкаралупи на синтетичному зв'язуючому можна формувати на конвеєрних лініях способом прокатування.

Перед поданням на формування волокнистий килим спершу ущільнюють роликами, розташованими на виході з камери волокноосадження.

Формування шкаралуп відбувається на установці, конструктивна схема якої зображена на рис. 23.2.

Принцип роботи конвеєра представлений на наведеній схемі. Попереднє формування поверхні шкаралуп здійснюється на конвеєрі, котрий містить окремі ланки (кільця), на яких закріплені перфоровані піддони у вигляді півциліндрів певного діаметра, що надають необхідної форми внутрішній поверхні шкаралуп. Зовнішня поверхня шкаралуп формується приводними профільовальними роликами.

Остаточне формування шкаралуп відбувається в камері теплової обробки, де підпресований і вже частково профільований килим послідовно обтискається групою профільованих валків, котрі фіксують форму зовнішньої поверхні.

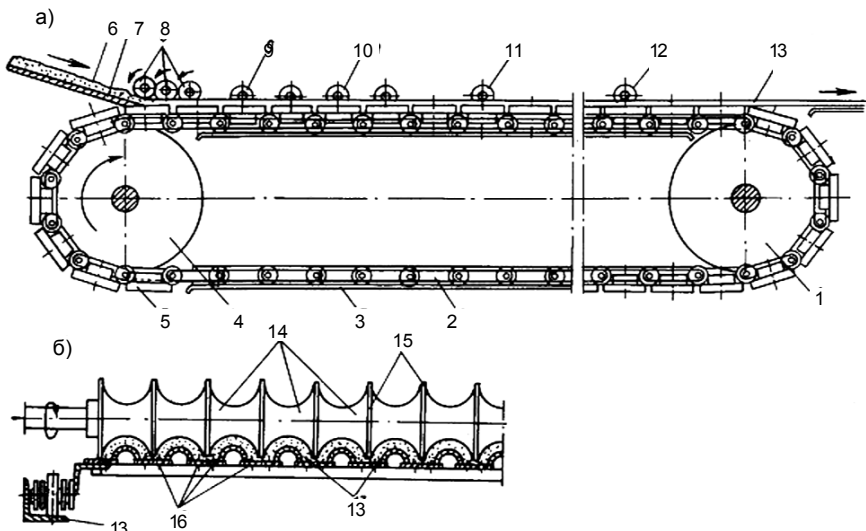


Рис. 23.2. Схема вузлів конвеєра для формування мінераловатних шкаралуп:
 а – спосіб прокатування; б – за допомогою набірною прокатувального валика.

- 1 — приводна зірочка; 2 — втулочно-роликів ланцюг;
 3 — направляючий ланцюг; 4 — натяжна зірочка; 5 — елемент ланцюга конвеєра; 6 — мінераловатний килим; 7 — подаючий лоток;
 8 — підпресувальні барабани; 9 — профілюючий валік форми № 1;
 10 — теж форми № 2; 11 — теж форми № 3; 12 — теж кінцевої форми; 13 — килим відформованих шкаралуп; 14 — дискові ножі;
 16 — направляючий ланцюг

Валки складаються з окремих роликів, розділених дисковими різакми, які розкрояють килим у поздовжньому напрямку на окремі смуги за розмірами одержуваних шкаралуп. У камері теплової обробки водночас із формуванням виробів відбуваються сушіння та тужавіння (поліконденсація) синтетичного зв'язуючого. Для надання шкаралупам потрібних розмірів їх калібрують фрезерним пристроєм і розрізають на вироби належних розмірів.

М'які та напівжорсткі плити на бітумному зв'язуючому також формуються на конвеєрних лініях. Для отримання виробів необхідної товщини й густини за камерою волокноосадження встановлюють калібрувальний пристрій.

Мінераловатний килим, просочений бітумом (або сумішшю бітумів) піддають теплової обробці (м'які плити теплового оброблення не потребують) за температури близько 50°C. Кількість бітуму в плитах становить 14...20%.

Після просочення бітумами та теплової обробки (у виробництві напівжорстких плит камера теплової обробки зазвичай відсутня) плити потрапляють до камери охолодження (рис. 23.3). Остудження килима, просоченого бітумом, забезпечує вентилятор високого тиску. Тривалість охолодження становить 3...4 хв. Остуджений килим дисковими різакми поздовжнього та поперечного краєння розрізається на вироби.

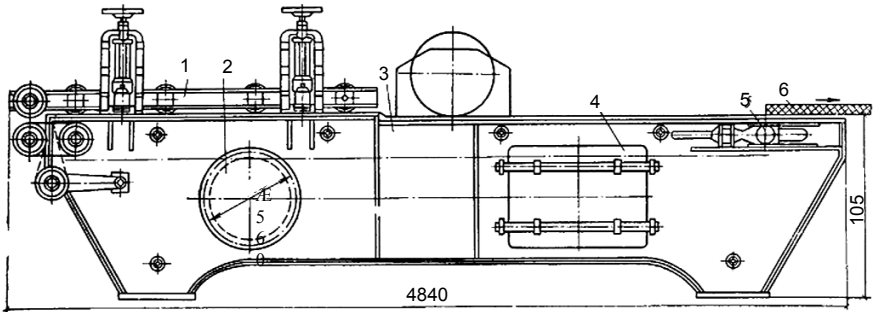


Рис. 23.3. Схема камери охолодження:

1 — пресуючий пристрій; 2 — люк вентиляційного відсосу; 3 — корпус; 4 — оглядовий люк; 5 — пластичний конвеєр; 6 — шар мінераловатного килима

Жорсткі мінераловатні плити на бітумному зв'язуючому формують з гідромаси, одержаної шляхом перемішування мінеральної вати з водною емульсією бітумного зв'язуючого.

Основою комплексу технологічного обладнання для виробництва таких плит є формувальна установка. До складу формувальної установки входять проміжний конвеєр для подавання мінеральної вати, тіпальний пристрій для розпушування вати, похилий конвеєр, дозатор емульсії, змішувач для приготування гідромаси, пристрій транспортування гідромаси до формувального верстата та верстат для формування плит.

За аналогічною технологічною схемою можуть вироблятися також жорсткі плити на синтетичному зв'язуючому.

Мінераловатні плити з підвищеною густиною, наприклад тверді плити густиною 250...400 кг/м³, також можна отримати способом механічного перемішування гідромаси в змішувачі (з подальшим формуванням на формувальному верстаті з вакуумуванням); проте здебільшого їх формують методом гарячого пресування мінераловатних заготовок, просочених зв'язуючим, на спеціальних поверхневих пресах. Мінераловатні заготовки подають у прес на металевих піддонах.

У процесі пресування відбуваються формування плит та їхня термообробка. Для одержання плит потрібної товщини уздовж поздовжніх крайок преса, через які здійснюється нагрівання, кладуться дистанційні прокладки відповідного розміру.

Волокнисті циліндри на синтетичному зв'язуючому формують методом навивання тонкого килима з нанесеним зв'язуючим на металеві перфоровані качалки з подальшим калібруванням і термообробкою циліндрів. Автоматизований верстат для навивання циліндрів показаний на рис. 23.4.

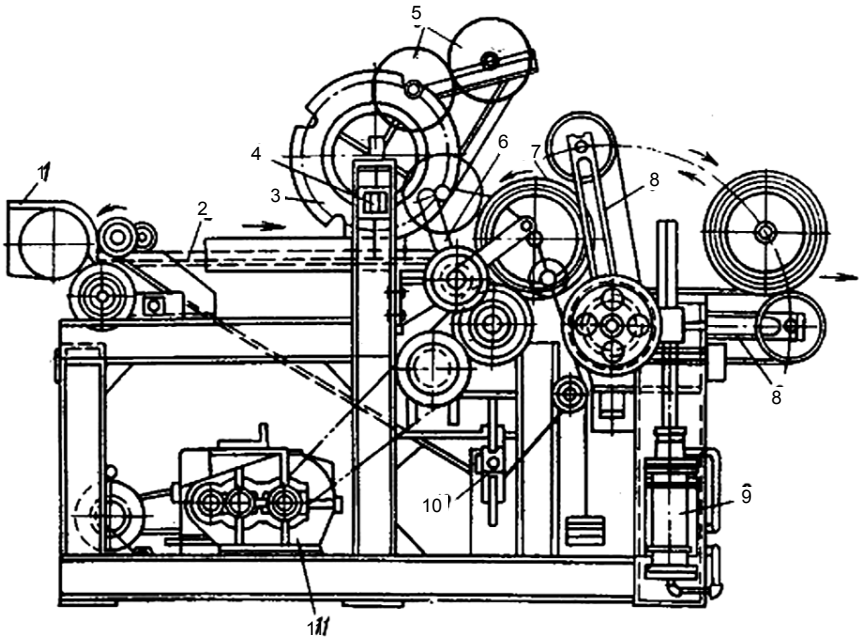


Рис. 23.4. Верстат для навивання циліндрів з мінераловатного килима:

1 — мінераловатний килим; 2 — прорезинена стрічка; 3 — зубчаті диски; 4 — електромагніт; 5 — перфоровані валки; 6 — кронштейни; 7 — навивка циліндра; 8 — кронштейни, що гойдаються; 9 — пневмоциліндр; 10 — натяжна станція; 11 — електропривід стрічки

Мінераловатний шар одержаного килима (завтовшки не більш ніж 25...30 мм) навивається на перфоровані валки робочою довжиною 1500 мм і діаметром, який дорівнює внутрішньому заданому діаметру виготовлюваних циліндрів. Щоб запобігти прилипанню вати до валків, їхні поверхні змащуються спеціальним мастилом. Після

досягнення потрібної товщини циліндра навивання припиняється, відривається шар від килима та скочується на верстат ущільнення й калібрування. На звільнене місце укладається наступний валик, і процес повторюється.

Калібрувальний верстат складається з трьох барабанів, котрі обертаються з частотою 11...12 обертів за хвилину, — двох нижніх, на які кладеться валик з намотаним на нього шаром килима, та одного верхнього – для підпресування циліндрів за рахунок власної ваги. Калібрування й підпресування регулюють за допомогою зміни положення барабанів. Навитий циліндр разом з качалкою подається на верстат для прокатування та калібрування.

Калібрувальний верстат, який є частиною автоматизованої лінії, складається з двох стрічкових конвеєрів із прогумованими стрічками та ланцюгового конвеєра. Валики з намотаними на них циліндрами вміщуються в гнізда ланцюгового конвеєра і прокатуються між прогумованими стрічками, котрі рухаються у протилежних напрямках зі швидкостями, що перевищують швидкість ланцюгового конвеєра. При цьому відбувається підпресування циліндрів і загладжування їхнього поверхневого шару. Забезпечення належних розмірів зовнішнього діаметра циліндрів досягається шляхом зміни розмірів ланцюга між стрічками конвеєрів.

Відкалібровані циліндри направляють на теплову обробку в спеціальну камеру, де відбуваються їхнє сушіння та тверднення синтетичного зв'язуючого.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Де відбувається формування волокнистого килима?
2. Наведіть основні властивості та галузі застосування виробів з мінеральної і скляної вати.
3. Опишіть способи нанесення зв'язуючого на волокно.
4. Які сполуки використовують в якості зв'язуючої речовини при формуванні волокнистого килима?
5. Охарактеризуйте способи нанесення зв'язуючого.
6. Опишіть способи формування виробів з силікатного волокна.
7. Як виробляють циліндри з силікатного волокна?

Рекомендована навчально-методична література

1. Бутт Л.М., Василяускас, Вайткус И. и др. Справочник по производству теплоизоляционных материалов. Москва, Стройиздат, 1975. — 432 с.
2. Горлов О.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов, Москва, Стройиздат, 1980. — 398 с.

3. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий, СИ, М., 1982. — 376 с.
4. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ: ТОВ УВПК "Екс ОБ", 2004. — 704 с.
5. Рунова В.Ф., Гоц В.І., Гелевера О.Г., Константиновский О.П., Носовский Ю.Л., Піпа В.В. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Підручник. — 3-є вид. — К. : Основа, 2017. — 528 с., 179 іл., 86 табл.
6. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К., Барановский В.Б., Кочевых М.А., Гасан Ю.Г., Константиновский Б.Я., Ракша В.А., Строительное материаловедение, «Основа», Киев, 2007. — 704 с.
7. Сухарев М.Ф., Майзель И.Л., Сандлер В.Г., Производство теплоизоляционных материалов, М.: Высшая школа, 1981. — 231 с.
8. KNAUF INSULATION, Thermolan® Продукція та її застосування, каталог продукції. Видання 07/05. — 152 с.
9. Кремньов В.О., Шпільберг Л.Ю., Тимощенко А.В., Гулієнко О.В., Є.В. Тимощенко. Енергетична ефективність виробництва теплової ізоляції на основі базальтових супертонких волокон. *Кераміка: наука і життя*. № 4 (41), 2018. стр. 21-29.

РОЗДІЛ V.
**ТЕПЛО- І ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ
НА ОСНОВІ ПЛАСТМАС**

**§ 24. Вироби з газонаповнених пластичних мас.
Основи класифікації виробництва**

Газонаповнені (пористі) пластмаси займають особливе місце серед інших типів полімерних матеріалів завдяки чудовому поєднанню низької маси (дуже низькою, порівняно з іншими однотипними матеріалами, густиною) з відносно високою міцністю та прекрасними тепло- і звукоізоляційними властивостями.

Ці матеріали класифікують за рядом основних ознак. Залежно від складу початкової композиції і умов спінування можна отримувати матеріали переважно закрито-комірчастої (пінопласти) або відкритокомірчастої (поропласти) структури. В той же час треба відмітити, що не існує газонаповнених пластмас тільки з відкритими або закритими порами.

У системах тепло- і звукоізоляції найчастіше використовуються пінопласти.

Пінопластами називають газонаповнені пластмаси, оскільки технологія їх отримання заснована на спіненні полімерів газами, які утворюються або в результаті хімічних реакцій між компонентами, що складають матеріал (хімічний спосіб), або виділяються при розкладі мінеральних і органічних газоутворювачів, або при випаровуванні рідкої спінуючої речовини.

Полімери, які використовують для виробництва теплоізоляційних матеріалів в залежності від зворотності при нагріванні поділяють на термопластичні та терморективні.

Термопластичні полімери при повному нагріванні зберігають здатність плавитися та розчинятися в органічних розчинниках. Терморективні полімери після повторного нагрівання не розплавляються та не розчиняються.

Технологічний процес отримання газонаповнених пластмас обов'язково включає в себе три послідовні стадії:

- 1 – утворення газових бульбашок;
- 2 – зростання бульбашок;
- 3 – стабілізація спіненого полімера.

Найбільше значення для теплової ізоляції в будівництві і виконанні монтажних робіт мають пінопласти, отримані на основі полівінілхлоридних (ПВХ), етилену, фенолоформальдегідних, сечовиноформальдегідних, полістиролів і поліуретанових полімерів (смол).

Випускаються також синтактні (мікробалонні) піноматеріали, що являються полімерною матрицею з розподіленими в ній порожнистими мікросферами зі скла, полімерів, металів, кераміки і т.д.; інтегральні (структуровані) пінопласти, що складаються з поверхневого шару, густина якого близька або рівна густині монолітного пластика, і пористої серцевини.

Газонаповнені пінопласти прийнято також класифікувати за уявною густиною. Високоспінені (високопористі) матеріали мають уявну густину до 500 кг/м^3 , частково спінені (підспінені) — вище 500 кг/м^3 .

Властивості пінопластів залежно від густини початкового матеріалу, способів виробництва коливаються в широких межах: густина звичайно використовуваних в тепло- і звукоізолюючих конструкціях матеріалів, залежно від області застосування, коливається в межах — від 10 до 150 кг/м^3 , теплопровідність — від 0,023 до 0,052 Вт/м·К при 293 К, міцність — від 0,05 до 4,0 МПа, об'ємне водопоглинання — від 2 до 70%. За горючістю пінопласти відносяться до низькогорючих матеріалів (фенолоформальдегідні) та помірної, середньої і підвищеної горючості, без спеціальних добавок. В якості утеплювачів нормативно обмежене використання матеріалів середньої і підвищеної горючості.

Введення добавок робить ці матеріали самозатухаючими (індекс С) — при видаленні полум'я вони перестають горіти.

Температура застосування пінопластів залежно від виду вихідного полімеру знаходиться в межах від $(-180)^\circ\text{C}$ до $(130...180)^\circ\text{C}$.

Один з основних способів виробництва пінопластів полягає в насиченні розплаву полімеру інертним газом (під тиском), введенні його в форму для литва з нижчою температурою. При цьому відбувається зниження тиску і утворення піни.

Процес спінування здійснюють на виході з голівки або після завершення формування і калібрування виробу (в цьому випадку його піддають додатковому нагріву).

Інший спосіб — введення в полімер легкозакипаючих рідин, (ізопентанів, фреонів і т.д.), наприклад, при отриманні полімеру, тобто в процесі полімеризації мономера. Гранульований полімер, що містить частинки легкозакипаючої рідини завантажують у форми, в яких при нагріванні відбувається його спінування під дією пари рідини, що утворюється.

Ефективним способом спінування термопластичних полімерів являється введення хімічних газоутворювачів (порофорів). При виборі газоутворювача слід враховувати, що температура його розкладу (газоутворення) повинна співпадати з температурою плавлення полімеру.

Таблиця 24.1.

**Фізико-механічні властивості пінополістиролу
(відповідно до ДСТУ Б EN13163:2012)**

Характеристика	Параметри теплоізоляційних матеріалів з EPS						
	EPS 70	EPS 100	EPS 120	EPS 150	EPS 200	EPS 350	EPS 500
Теплопровідність, розрахункове значення, λ_D , Вт/(м·К)	≥ 0,039	≥ 0,037	≥ 0,036	≥ 0,035	≥ 0,034	≥ 0,032	≥ 0,031
Міцність при стиску при 10% лінійній деформації, кПа	≥ 70	≥ 100	120	≥ 150	200	350	500
Міцність при розтягу перпендикулярно до площини плити, кПа	≥ 100	≥ 150		≥ 200			
Міцність при згині, кПа	≥ 115	≥ 150	≥ 170	≥ 200	≥ 250	525	750
Міцність при зсуві, кПа	≥ 35	≥ 60		≥ 85			
Стабільність розмірів при 48 г, 70°C, %	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Стійкість до деформації, 48 г, 20 кПа, 80°C, %	---	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Стійкість до деформації, 168 г, 40 кПа, 70°C, %	---	---	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Коефіцієнт опору дифузії водяної пари μ	20-40	30-70	30-70	30-70	40-100	40-100	40-100
Термічний коефіцієнт поздовжньої деформації, K^{-1}	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$	60- $80 \cdot 10^{-6}$
Вогнестійкість	E	E	E	E	E	E	E
Хімічна стійкість	Стійкість до впливу води, більшості кислот і лугів. Чутливість до впливу органічних розчинників.						
Біологічний вплив	Абсолютна стійкість до впливу мікроорганізмів. EPS не гниє і не розкладається. Хімічно нейтральний, не розчиняється у воді. Немає даних про шкідливий вплив на організм людини.						

Зверніть увагу:

Зазначені в таблиці технічні та фізичні характеристики - це орієнтовні величини для утеплювачів на базі матеріалу EPS. Значення і характеристики можуть відрізнятися в залежності від способу обробки.

З органічних порофорів найбільш поширені:

- азоформамід (товарне найменування ЧХЗ-21);
- азодіізобутиронітрил;
- диметилловий ефір азомурав'їної кислоти;
- діазоамінобензол;
- JV, JV7 — динітровопентаметилентетрамін;
- бензолсульфоногідрозид та ін.

Застосування деяких хімічних газотворювачів обмежене через токсичність продуктів їх розпаду. В якості газотворювачів можуть бути використані також неорганічні речовини: карбонати амонію, натрію та ін. Проте при їх застосуванні виникають проблеми з рівномірністю їх розподілу в полімерах.

Таким чином, вироби зі спінених термопластичних полімерів найчастіше отримують литвом під тиском та пресуванням у формах. У разі пресування можуть бути отримані напівспучені гранули які, після охолодження, виймають із форм, а потім нагрівають в спеціальних, закритих формах, де відбувається процес спінення. При температурі вищій за температуру склування (T_g) полімеру відбувається спінювання заготовки із збільшенням її розмірів до заданих, обмежених формою (формовий спосіб отримання пінопластів).

В останній час все більшого розповсюдження набуває екструзійний метод отримання виробів.

Литво під тиском і екструзія термопластів з хімічним газотворювачем аналогічні спіненню полімеру з примусовою подачею газу. Розкладення газотворювача відбувається в підготовчій ємності машини, а формування спінених виробів — в формі для литва або при вичавлюванні розплаву полімеру через формуючу екструзійну голівку.

При отриманні поропластів з термопластичних полімерів попередньо змішують порошкоподібний полімер з розчинними у воді речовинами і з приготованої композиції пресують вироби. Після охолодження виріб виймають з форми і вимивають розчинні речовини водою, внаслідок чого в структурі полімеру утворюються пори.

В Німеччині пінополістирол (PS) випускається за стандартом (DIN 18164), що гармонізований з стандартами Європейської співдружності для гранульованого полістиролу, отриманого за безпресовим методом (EPS) DIN EN 13163 та за методом екструзії (XPS) DIN EN 13164. Згідно стандарту гранульований пінополістирол має густину від 15 до 30 (40) кг/м³. Матеріал відносно не міцний, міцність на стиск, складає:

PS 15 0,07...0,12 МПа

PS 20 0,12...0,16 МПа

PS 30 0,18...0,26 МПа

При тривалому навантаженні матеріал зминається (усаджується) до повного руйнування. Динамічна жорсткість гранульованого пінополістиролу робить його придатним для захисту від ударних шумів. Тому для цієї області застосування треба обов'язково врахувати його невисокі міцнісні характеристики та захищати його поверхню від вм'ятин, а матеріал від дії стискаючих напруг. Виготовлені таким чином захисні плити від ударного шуму мають позначення (PTS SE).

Модульні розміри виробів з твердого пінополістиролу складають для: плит

(P) 1000 x 500 мм (товщина: 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мм);

(B) 5000 x 1000 мм (товщина: 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мм).

Термічний опір (R) плит з гранульованого пінополістиролу залежить від товщини плит і зростає з 0,33 м²·К/Вт при 20 мм товщині плити EPS до 0,88 м²·К/Вт при 40 мм товщині плити EPS.

§ 25. Основні види пінопластів, застосування в тепло- та звукоізоляційних системах і конструкціях

Для облаштування різних систем тепло- і звукоізоляції застосовують, в основному, газонаповнені пластмаси, матеріал яких повинен забезпечити отримання продукту із необхідними споживними властивостями. Найбільшим вживаним у будівництві є полістирольний пінопласт.

25.1. Пінополістирол

Полістирольний пінопласт, що виготовляють з суспензійного (бісерного) полістирола, представляє собою ніздрюваті частинки (гранули), склеєні одна з одною. Кожна частинка складається з пор, що утримують суміш газів, та розділених тонкими стінками полімера. Обсяг мікропор в гранулах складає 94...97%, а обсяг порожнин між частинками складає 3...6%.

Сировиною для виробництва полістирольного пінопласту є суспензійний полістирол для спінування, який отримують суспензійною полімеризацією стиrolа $C_6H_5CH=CH_2$ в присутності пороутворювача ізопентана C_5H_{12} . Промисловістю випускається дві марки суспензійного полістирола: звичайний (ПСБ) та самозатухаючий (ПСБС) **ДСТУ EN 13163:2012 "Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із спіненого полістиролу (EPS). Технічні умови (EN 13163:2008, IDT)"**. Плити з добавкою антипірена не повинні підтримувати самостійного горіння після видалення джерела вогню.

Промисловістю виготовляються плити з пінополістирольного пінопласту завдовжки від 900 до 2000 мм з інтервалом 50 мм, завширшки від 500 до 1200 мм з інтервалами 50 мм і товщиною (висотою) — 25, 33, 50 і 100 мм. За густиною плити підрозділяються на марки 20, 25, 30 і 40. Відповідно зарубіжні пінополістирольні плити (KNAUF, BASF) випускають в основному, завдовжки 1250 і 2500 мм, шириною 600 мм і товщиною від 20 до 200 мм.

Сировиною для виробництва пінополістиролу пресовим методом служать полістирол емульсійний (марки Б), газоутворювачі (зазвичай порофор ЧХ3-57, вуглекислий амоній, бікарбонат натрію і ін.) і етиловий спирт.

Порофор ЧХ3-57 (азоізобутиронітрил) — білий, з блакитним відтінком, порошок, здатний при $t_p=(80...100)$ °С розкладатися з виділенням азоту. Етиловий спирт застосовується для підвищення текучості полімеру.

Безпресовим методом пінополістирол виробляють з суспензійного полістиролу EPS 70:EPS 250 — гранульованого продукту полімеризації стиролу (у присутності ініціатора) і пороутворювача (ізопентана).

Полістирол EPS (самозатухаючий) містить також антипірен (сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній і ін.)

Процес отримання гранульованого полістирола включає: підготовку сировини, полімеризацію стиролу, промивку та сушку полімеру. Полімеризація стиролу відбувається в спеціальному автоклаві під тиском 0,3...0,6 МПа на протязі 20...23 годин.

Процес виробництва гранульованого пінополістирола складається з наступних процесів: при нагріванні вище 80 °С полістирол переходить з скловидного стану в еластичний, ізопентан в його масі вже при температурі 28 °С переходить у газоподібний стан.

Під тиском парів ізопентану розм'якшені гранули полістирола случуються, збільшуючись в обсязі в 10...20 разів. Швидкість спінювання та ступінь збільшення гранул залежать від температури їх нагріву. Найбільш інтенсивне спінювання полістирола починається при температурі 95...100 °С. В якості теплоносія можна використовувати воду, пару та гаряче повітря. Найбільш ефективним теплоносієм є пара. Треба враховувати, що гаряче повітря має значно нижчий коефіцієнт теплопередачі, тому при нагріванні ним гранул інтенсивність спінювання різко знижується.

Характерною особливістю технології виробництва гранульованого пінополістирола безпресовим методом є двостадійний процес спінювання: попереднє спінювання в шнековому або барабанному спінювачі та кінцеве спінювання у формі, що забезпечує склеювання гранул між собою. Виробництво гранульованого пінополістиролу може бути організовано за

періодичною або безперервною схемами. На рис. 25.1 наведена технологічна схема виробництва полістирольного пінопласту.

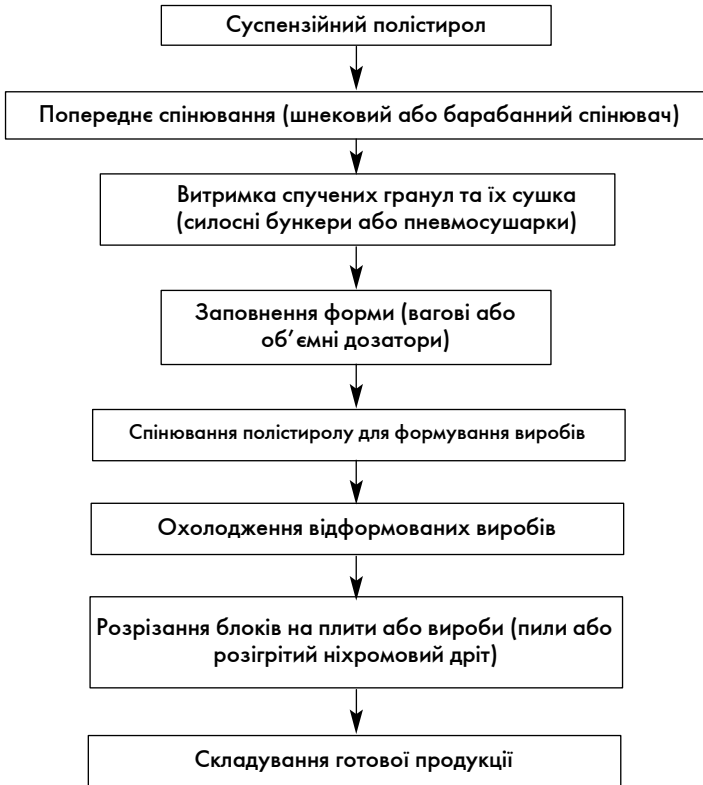


Рис. 25.1. Технологічна схема виробництва виробів з полістирольного пінопласту

Безпресовим методом виробляється пінополістирол марок EPS. Технологічний процес виробництва пінопласту в цьому випадку складається з наступних основних операцій:

- попереднє спінування гранул полістиролу;
- спінування гранул у формах;
- охолодження і сушка пінопласту.

Попереднє спінування гранул полістиролу EPS проводять за допомогою різних теплоносіїв (кипляча вода, водяна пара, пароповітряна суміш) або електрообігрівом в шнекових або барабанних апаратах безперервної дії. Воно проводиться для зниження густини виробів і скорочення тривалості спінування у формах.

Попереднє спінювання протягом 1...5 хвилин (в залежності від гранулометричного складу полістирола та температури спінювання) виконують для зниження густини пінополістиролу та скорочення часу спінювання у формах. Попереднє спінювання перегрітою водяною парою найбільш ефективно, тобто при цьому відпадає необхідність в сушці гранул. Для спінювання парою використовують шнекові та барабанні апарати.

Шнековий апарат (рис. 25.2.) складається з корпусу (труба діаметром 200 мм,) усередині якого шнеком неперервно від завантажувального отвору до виходу переміщуються гранули полістирола. Навколо корпусу змонтована парова сорочка, в яку подають пару під тиском 9...11 кПа. Через отвори у корпусі пара поступає у шнек і нагріває полістирол до температури 95...100 °С. Спінені гранули мають вологість по масі 16...18%. Виробнича потужність шнекового апарата складає 1...2,5 м³/год в залежності від властивостей суспензійного полістиролу.

Барабанний апарат складається з горизонтально розташованого барабана, що обертається (рис. 25.3.).

Гранули полістирола за допомогою стиснутого повітря подаються в нижню частину барабана, де піддаються дії пари, що поступає в апарат під тиском 7...9 кПа. Гранули спучуються, після чого розвантажувальним шнеком, що розташований над барабаном, подаються в бункер готової продукції. Швидкість обертання барабана залежить від часу спінювання та заданої густини матеріалу. Час спінювання від 3 до 6 хвилин. Виробнича потужність апарата 4,5...5,5 м³/год спінених гранул з вологістю 30...50%.

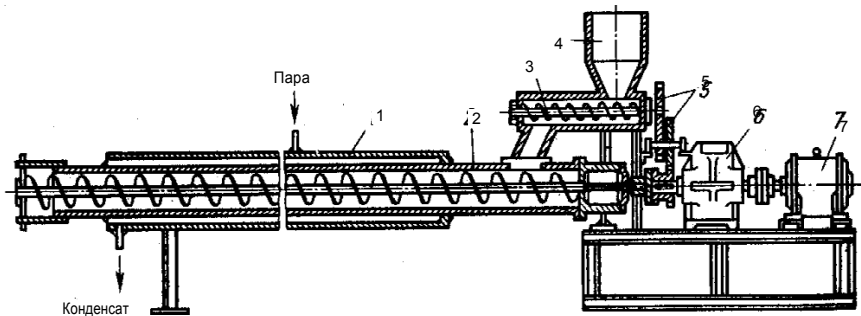


Рис. 25.2. Шнековий апарат для спінювання суспензійного полістиролу:

1 — парова сорочка; 2 — трубчатий шнек; 3 — шнековий дозатор; 4 — бункер вихідної сировини; 5 — привод дозатора; 6 — редуктор; 7 — електродвигун

При охолодженні спінених гранул, водяна пара та пари ізопентана, що знаходяться всередині, конденсуються, утворюючи вакуум. Створення рівновагового тиску в порах гранул настає на протязі 6...12 годин при температурі не вище 28 °С. Термін витримки залежить від густини та пористості спінених гранул. Вологі гранули бажано підсушувати гарячим (до 40 °С) повітрям.

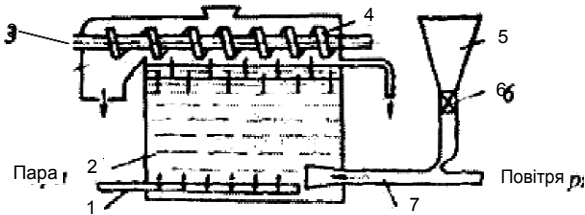


Рис. 25.3. Схема барабанного апарата для спінювання гранул полістирола:

1 — кільцева форсунка для подачі пари; 2 — корпус барабана; 3 — розвантажувальний отвір; 4 — шнек для вивантаження спінених гранул; 5 — бункер вихідної сировини; 6 — комірковий дозатор; 7 — повітропровід

Після попереднього спінювання гранули можна зберігати протягом двох тижнів.

Формують вироби на обладнанні періодичної або неперервної дії з використанням різних теплоносіїв — води, пари, токів високої частоти. За вельми поширеною пресовим методом виготовляється пінополістирол двох типів: ПС-1 — із застосуванням органічного газоутворювача (порофора) і ПС-4 — з використанням суміші органічного і мінеральних газоутворювачів (порофора, вуглекислого амонія, бікарбонату натрію).

Процес виробництва пінополістиролу пресовим методом відображений на рис. 25.4. і включає три основні стадії:

- змішування полістиролу з газоутворювачем та іншими добавками;
- пресування одержаної маси;
- спінювання заготовок.

Змішують узяті в рецептурному співвідношенні складові в кульовому млині, який обладнано охолоджуючою сорочкою. Цей процес продовжується 12...24 год. до отримання дрібнодисперсної однорідної маси.

Пресують масу на гідравлічних пресах в прес-формах закритого типу під навантаженням 8...12 МПа при температурі 120...145 °С. У цих умовах частинки (бісер) полістиролу сплавляються в моноліт, газоутворювач розкладається, а гази, що виділяються, рівномірно

розподіляються в масі, утворюють найдрібніші комірочки. При температурі пресування заготовку витримують протягом часу, встановленого з розрахунку 1...2 хв. на кожен міліметр її товщини.

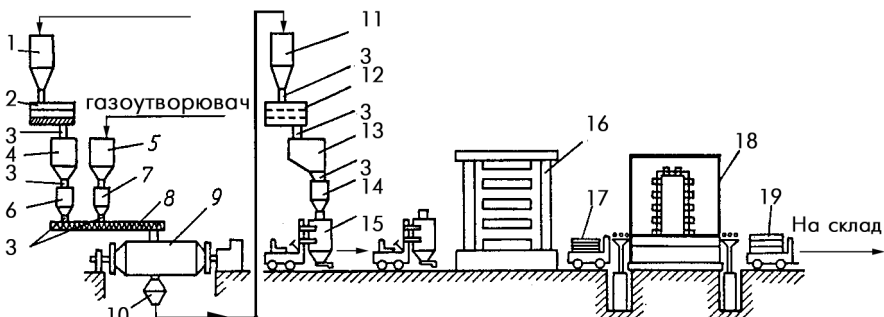


Рис. 25.4. Схема процесу виробництва пінополістиролу пресовим методом:

- 1 — бункер-циклон для полімеру; 2 — вібрисито; 3 — шлюзовий затвор; 4 — бункер для просіяного полімеру; 5 — бункер для газоутворювача; 6 — дозатор полімеру; 7 — дозатор газоутворювача; 8 — шнек; 9 — кульовий млин; 10, 11 — бункер для композиції; 12 — вібрисито; 13 — бункер; 14 — дозатор автоматичний; 15 — автотранспортувач з рухомим бункером; 16 — прес; 17 — автотранспортувач для перевезення заготовок; 18 — камера спінування; 19 — автотранспортувач з готовими плитами

У тому випадку, коли треба отримати пінопласт зниженої густини без збільшення витрати газоутворювача, в кінці витримки вдаються до підспінення заготовки в прес-формі. З цією метою плавно зменшують тиск преса: газ, що знаходиться в напівфабрикаті, піднімають пуансон, збільшуючи його висоту.

Для повного спінення відпресовану заготовку після охолодження в прес-формі до кімнатної температури знову нагрівають в спеціальних камерах насиченою водяною парою при $t = (95...100) ^\circ\text{C}$. Під тиском газу в комірках розм'якшеного полімеру заготовка збільшується в розмірах, зберігаючи в основному первинну форму. З ряду причин, пов'язаних з умовами пресування (нерівномірний прогрів, витік газу і т.п.), деякі вироби приймають дещо зігнуту форму.

При отриманні плит з рівними площинами, їх, після завершення процесу спінування, навантажують за допомогою гідравлічного механізму тиском 0,01...0,05 МПа і в такому стані охолоджують. Якщо спінування відбувається в перфорованих обмежувальних касетах, операція випрямлення поверхні плит виключається. На рис. 25.5. показана схема виробництва пінополістиролу пресовим

методом з попереднім спінюванням в шнековому спінювачі і остаточним – в автоклаві.

Полістирол з приймального бункера 1 через циклон 2 і дозатор 3 поступає в трубчастий шнек 4 з паровою сорочкою ($P_n = 0,12 \dots 0,13$ МПа), де відбувається попереднє спінювання. Зі шнека підспінені гранули поступають в бункер 5, звідки прямують в змащені форми 7 (перфоровані). Форми, встановлені на вагонетку 7, подають в автоклав 8, де здійснюється автоклавна обробка, яка триває 40...60 хв. Під тиском 0,18...0,23 МПа при температурі 95...110 °С, гранули полістиролу, збільшуючись в об'ємі, заповнюють порожнину форми, ущільнюються і сплавляються.

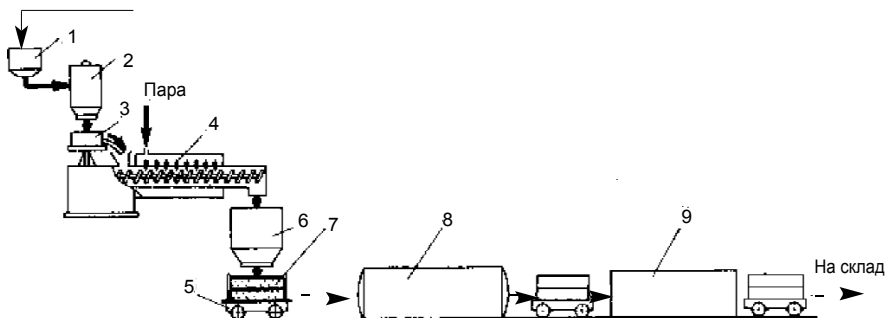


Рис. 25.5. Схема процесу виробництва пінополістиролу пресовим методом з попереднім спінюванням

Після автоклавної обробки вироби охолоджують, витягують з форм і висушують в сушильній камері при $t_c = 30 \dots 35$ °С. Вологість виробів після сушки не повинна перевищувати 10%.

Готові вироби відправляють на склад, а відходи пінополістирола, що утворилися, подрібнюють і додають до заздалегідь спіненої сировини (до 15%).

При формуванні плит на карусельній машині одну з шести форм заповнюють заздалегідь спіненими гранулами полістиролу. При повороті каруселі на 60^0 форма потрапляє під гідравлічний прес і за допомогою гідроциліндра притискається до верхньої його плити. Потім всередину форми подається водяна пара ($P_n = 0,13$ МПа), під впливом якої гранули збільшуються в об'ємі, ущільнюються і сплавляються. Після закінчення обробки, форма опускається на карусель, яка знову повертається на 60^0 , виріб охолоджується і виштовхується з форми гідроциліндром. На працюючій автоматично карусельній машині формують плити і блоки пінопласту розміром 1000 x 1000 мм і завтовшки 50...300 мм.

Машина з рухомими конвеєрними стрічками призначена для безперервного формування полістирольного пінопласту (рис. 25.6.).

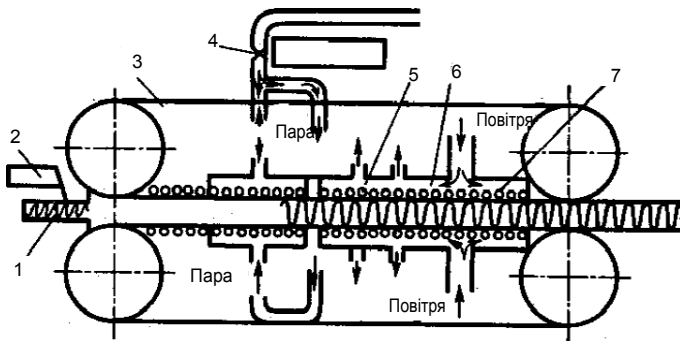


Рис. 25.6. Принципова схема машини для безперервного формування полістирольного пінопласту:

1 — подаючий гвинтовий конвейєр, 2 — завантажувальний бункер, 3 — парова камера, 4 — вентиль автоматичного регулювання тиску, 5 — вакуумна камера; 6 — камера охолодження, 7 — перфорація

Машина має гвинтовий підспінювач і чотири стрічкові транспортери, два з яких розташовано горизонтально (один над іншим) і ще два є бічними огорожами прямокутного каналу. З бункера 2 гранули полістиролу гвинтовим конвейєром завантажують в робочий об'єм камери (простір між стрічками транспортерів). Проходячи зону формування, полістирол, під впливом пари з парової камери $t_n = (105...120) \text{ } ^\circ\text{C}$, температура і тиск якої регулюються автоматичним клапаном 4, спінюється. Відпрацьована пара видаляється через перфлраційні отвори і вакуумну камеру 5. З формувальної зони матеріал потрапляє в зону охолодження камери 6, де охолоджується повітрям до температури близько $40 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Таблиця 25.1.

Основні фізико-механічні характеристики пінополістиролу пресового методу виробництва

Найменування характеристик	Значення показників							
	ПС-1					ПС-4		
	70	100	150	200	350	40	60	65
Водопоглинання за 24 год, кг/м^3 , не більше	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Лінійна усадка за 24 год. при $60 \text{ } ^\circ\text{C}$, %, не більше	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0	0,8	0,8
Межа міцності на стиснення, кг/см^2 , не менше	3,0	8,0	15	30	50	1,7	3,0	4,0
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/мК , не більше	0,04	0,039	0,038	0,036	0,035	0,041	0,040	0,039
Коефіцієнт паропровідності, міліграм/м;год;Па, не менше	—	—	0,04	—	—	—	0,02	—

Підвищення характеристик полістирольного пінопласту досягається за рахунок вдосконалення як методів виробництва, так і матеріалів. Прикладом є інноваційна розробка компанією BASF пінополістиролу на базі Neopor®, який має в своєму складі графіт та забезпечує високі теплоізоляційні властивості і низьку горючість.

Поглинання і віддзеркалення інфрачервоних променів (рис. 25.7) дозволяє Neopor® істотно зменшити відтік тепла, викликаний випромінюванням. За рахунок інноваційних особливостей утеплювачі з Neopor® з густиною 15 kg/m^3 забезпечують, наприклад, теплопровідність $\lambda \leq 0,032 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, в той час, як звичайні EPS порівнянної густини мають параметр теплопровідності $\lambda \geq 0,037 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Екструзійний метод отримання твердого полістирольного пінопласту за принципом організації технологічного процесу аналогічний методу безперервного формування пінопласту. Формування плити і остаточне структуроутворення відбувається у формуючому пристрої на виході з екструдера, після якого брус поступає на ділянку охолодження і різання. Екструзійний пінопласт, як правило, характеризується вищими показниками порівняно з матеріалами, одержаними іншими способами.

Схема отримання пінопласту екструзійним способом розглянута вище.

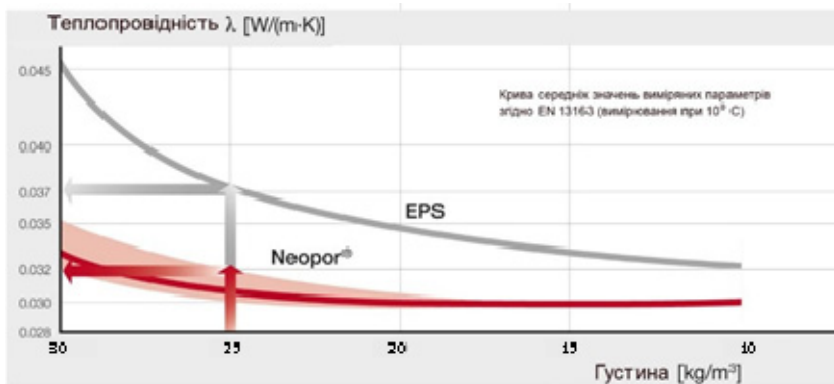


Рис. 25.7. Залежність теплопровідності модифікованого пінополістиролу (Neopor®) від густини матеріалу

В разі використання виробів із екструдованого пінополістиролу для теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівель і споруд їх виготовляють у вигляді плит, які можуть мати спеціальну крайку з обробленням (виступи, пази, ступінчастий фальц тощо). Вимоги до показників таких виробів в становлює **ДСТУ Б EN 13164:2013**

Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із екструдованого пінополістиролу (XPS). Технічні умови (EN 13164:2008, IDT), який включає в себе методи випробувань, оцінки відповідності, маркування та етикетування. Вироби, що випускаються відповідно до цього стандарту, застосовують для теплоізоляції в системах утеплення огорожувальних конструкцій і в композитних панелях. Цей стандарт також поширюється на багатошарові ізоляційні плити.

Суттєве зростання попиту на високоякісні, енергоефективні та надійні утеплювачі, здатні забезпечити стабільні експлуатаційні характеристики протягом тривалого часу спонукає виробників до переходу при виготовленні виробів з пінополістиролу з **ДСТУ Б В.2.7-8-94. «Плити пінополістирольні. Технічні умови»** на зазначені вище **ДСТУ Б EN 13163:2012** та **ДСТУ Б EN 13164:2013**. Перехід на гармонізовані європейські документи дозволить перейти від класифікації марок плитних виробів в залежності від граничного значення густини до визначення при маркуванні та етикетуванні всіх суттєвих характеристик і параметрів виробу, необхідних для підтвердження відповідності вимогам відповідного чинного Технічного регламенту.

Окрім спінування полістиролу в безперервному або пульсуючому (періодичному) режимі, застосовують метод спінування безпосередньо в порожнині будівельних конструкцій — стінових або покрівельних панелей. Гранули нагріваються парою або електричним струмом (наприклад, струмами високої частоти), а потім охолоджуються до температури біля 40 °С.

Властивості і застосування.

Полістирольний пінопласт в цілому характеризується високими теплоізолюючими властивостями, вельми низькою гігроскопічністю і досить високим опором стисканню (зростаючому у міру підвищення густини).

Властивості пінополістирола в значній мірі залежать також від способу виробництва.

Основні фізико-механічні властивості пінополістирола, одержаного пресовим методом, показані в таблиці 25.1.

Технологічні дані екструзійного пінополістиролу представлені в таблиці 25.2.

Застосування пінополістиролу — ефективного, легкого, відносно водостійкого, досить міцного і еластичного матеріалу — дозволяє істотно понизити тепловтрати, заощадити теплову енергію, зменшити енергетичне навантаження будівельних споруд, тим самим знижуючи їх собівартість і підвищуючи енергоефективність.

Таблиця 25.2.

**Фізико-механічні властивості пінополістиролу
(відповідно до ДСТУ Б EN13164:2013)**

Найменування характеристик	Значення показників пінополістиролу (густина від 21 до 45 кг)	Нормативний документ
Теплопровідність, Вт/мК: розрахункова	≥ 0,032	EN12667 або EN 12939
Паропроникність, мг/м·год·Па, не менше	0,02	EN 12086
Міцність при стиску при 10% лінійній деформації, кПа		EN 826
до 20 мм	≥ 100	
до 30 мм	≥ 150	
до 40 мм	≥ 200	
до 50 мм	≥ 230	
до 60 мм	≥ 250	
Коефіцієнт опору паропроникності, мг/(м·ч·Па)	≤ 0,01	EN 12086
Водопоглинання (за об'ємом), через 28 діб, %, не більш	≤ 0,4	EN 12087 або EN 12088
Гранична температура застосування °С	Від -50 до +75	—
Хімічна стійкість	Стійкість до впливу води, більшості кислот і лугів. Чутливість до впливу органічних розчинників.	
Біологічний вплив	Абсолютна стійкість до впливу мікроорганізмів. XPS не гниє і не розкладається. Хімічно нейтральний, не розчиняється у воді. Немає даних про шкідливий вплив на організм людини.	

Зверніть увагу:

Зазначені в таблиці технічні та фізичні характеристики - це орієнтовні величини для утеплювачів на базі матеріалу XPS. Значення і характеристики можуть відрізнятись в залежності від способу обробки.

25.1.1. Области застосування пінополістиролу

Пінополістирол — вельми ефективний ізоляційний матеріал в надземному і підземному будівництві, на транспорті, для виготовлення різних конструктивних елементів і рішень: ізоляція стін, підлоги, стель і дахів; ізоляція по периметру, теплоізоляція «містків холоду», виготовлення плит типу сендвіч. Він застосовується також як захисний шар від заморозків в будівництві автошляхів і залізниць.

Полістирольний пінопласт (це стосується в першу чергу екструзійного пінополістиролу) — досить довговічний матеріал. Термін його активної експлуатації в системах (час, протягом якого матеріал зберігає експлуатаційні властивості) — не менше 25 років. Пінополістирол, всупереч думці, що склалася, не є живильним

середовищем для мікроорганізмів, не є їжею для гризунів і комах, середовищем для їх гніздовищ і розмноження. Проте при використанні матеріалу в хлівах, останні повинні своєчасно прибиратись, щоб уникнути гниття і розкладання залишків кормів. З цієї точки зору в даному випадку пінополістирол в системі доцільно захищати дрібнокомірчастою армуючою (за краще оцинкованою) сіткою.

Залежно від густини полістирольний пінопласт використовують для ізоляції і облаштування авто- та інших стоянок, дахів будинків; терасних і «зелених» дахів (висадження зелених насаджень на дахах); стель в житлових і громадських приміщеннях; приміщень складів, спортзалів, хлівів (з урахуванням згаданих міркувань); для облаштування підлог в побутових і промислових приміщеннях; ангарів для літаків; штучних крижаних трас; утеплення фасадів, підвальних приміщень і дахів житлових і громадських будівель і т.д.

Крім того, пінополістирол може застосовуватися як несучий елемент для нанесення шарів інших матеріалів: дерева, металу, штучних ворсових і безворсових покриттів. Він виправдав себе також в судобудуванні, в якості дошки для серфінгу і інших плаваючих засобів. Застосовують полістирольні пінопласти також для теплоізоляції тришарових огороджуючих конструкцій: панелей, стін, перегородок і т.д. зі спінюванням полістиролу безпосередньо на місці монтажу, в об'ємі конструкції.

Запровадження в Україні європейських нормативних вимог щодо енергоефективності об'єктів житлово-громадського призначення сприяє суттєвому розвитку попиту на ефективні пінополістирольні вироби, що дозволяють забезпечити тривалу, надійну експлуатацію огорожувальних конструкцій з нормативним рівнем пожежо- та енергобезпеки.

Зберігають пінополістирольні вироби в запакованому (ящики, обрешітка, пакети) або незапакованому вигляді в закритих утеплених приміщеннях, на відстані не менше 1 м від нагрівальних приладів, захищеними від дії пари органічних розчинників.

25.2. Пінополіетилен

Пінополіетилен отримують головним чином способом екструзії (прямою екструзією, екструзією з подальшим спінюванням), а також методами пресування і литва під тиском.

Для регулювання властивостей поліетилену в нього вводять наповнювачі (технічний вуглець, графіт і т.д.). При виготовленні спінених виробів з поліетилену використовують в основному хімічні газоутворювачі (найчастіше азотформамід або порофор ЧХЗ-21). Застосування в якості спінювачів легкозакипаючих рідин забезпечує можливість отримання високоспінених продуктів. Отримання

пінополіетилену часто суміщають з його хімічним «зшиванням» органічними пероксидами (наприклад, пероксидом дикумилу) або «зшиванням» під дією іонізуючого випромінювання. Пінополіетилен найчастіше застосовується в електротехнічній промисловості.

25.3. Пінополівінілхлорид

Складність отримання пінопластів на основі ПВХ визначається наступними двома чинниками: відносно низькою температурою термічної деструкції та недостатньо високим розм'якшенням полімеру при нижчій за цю температуру. Тому для отримання спіненого ПВХ необхідно готувати композиції, що містять пластифікатори, а також реакційноздатні мономери і олігомери. Такі пластичні композиції, що є концентрованими дисперсіями полімеру в органічних рідинах, називаються пластизолями. Для виготовлення пінопластів на основі ПВХ придатні майже всі відомі методи отримання газонаповнених пластмас пресові, екструзійні і т.д. Цими методами отримують як жорсткі, так і еластичні пінопласти.

Сировина. Вихідними матеріалами для виробництва пінопластів є полівінілхлорид (в основному латексний), пластифікатори для поліпшення технологічних і експлуатаційних властивостей композиції метилметакрилат, антипірен та ін., а також газоутворювачі.

Ефективним хімічним газоутворювачем для ПВХ є 2,2 — азо-біс-ізобутиронітрил (товарне найменування порофор-57).

Одночасно він виконує функції ініціатора полімеризації метилметакрилата, що найчастіше використовується як реакційноздатний мономер в вихідній суміші. В якості газоутворювача можуть використовуватися також порофор ЧХ3-21, вуглекислий амоній, бікарбонат натрію.

Технологія виробництва полівінілхлоридних пінопластів переважно пресова. Процес перемішування компонентів здійснюється в кульовому млині протягом 20...24 год. (для сумішей, що містять жорсткі суспензійні ПВХ) або 6...8 год (для сумішей, що містять еластичні, емульсійні ПВХ). Змішування компонентів може проводитися також в спеціальних змішувачах — одній двохвалкових.

Після змішування проводиться пресування композицій під тиском 15...18 МПа:

- для складів на основі суспензійного ПВХ — при $t = (160...170)^\circ\text{C}$ протягом 40 хв;
- для складів на основі емульсійного ПВХ — при $t = (180...185)^\circ\text{C}$ протягом 5...10 хв.

Заготівки «жорстких» пінопластів спінюють, як правило, в спеціальних обмежувальних формах в атмосфері насиченої водяної пари при $98...100^\circ\text{C}$. Тривалість спінювання 1...2 год. Після

завершення спінювання, вироби охолоджують, просушують, обрізують краї і, після перевірки якості, пакують.

«Еластичний» пінопласт ПВХ-Е може бути підготовлений також безперервним методом (рис. 25.8).

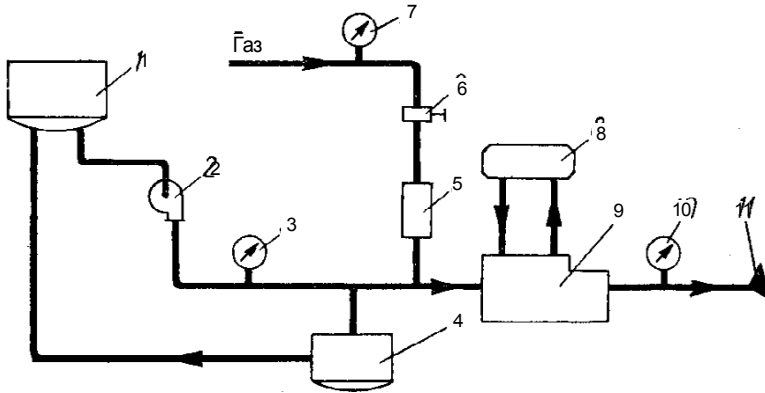


Рис. 25.8. Схема процесу виробництва пінопласту ПВХ-Е безперервним методом:

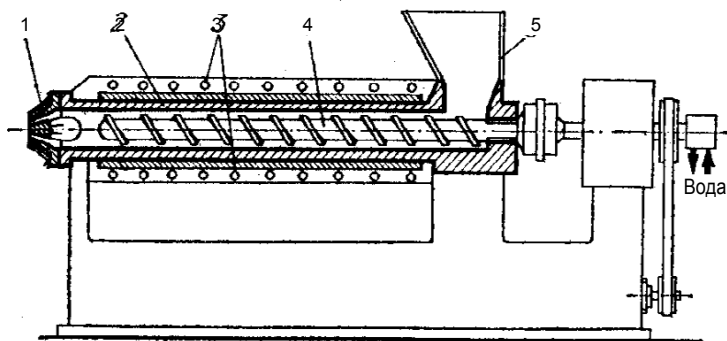
1 — бак живлення; 2 — насос; 3 — манометр (тиск рідини 14...28 кгс/см²); 4 — бак повернення; 5 — ротаметр; 6 — регулюючий клапан; 7 — манометр (тиск газу 20...35 кгс/см²); 8 — регулятор температури; 9 — змішувач; 10 — манометр (тиск газу 14...28 кгс/см²); 11 — механізм скидання тиску

Ретельно перемішану в змішувачі — пластикаторі, суміш складових композицій (пластизоль) завантажують в змішувач, куди під тиском 2,0...3,5 МПа подається вуглекислий газ. Одержану масу виливають у форми або на конвейєр, де внаслідок різкого зниження тиску на виході газ спінює масу. Остаточне спінювання досягається нагріванням форм до 175 °С. Після закінчення процесу і охолодження матеріалу до 65 °С одержаний пінопласт виймають із форм.

З полівінілхлоридних пластизолей пінопласти можна також отримувати шляхом насичення початкового матеріалу інертним газом, рідинами, які закипають при низьких температурах і фреонами з подальшим спінюванням на транспортері.

При виготовленні спінених виробів з ПВХ методом екструзії хімічний газоутворювач вводять при попередньому змішуванні компонентів в двостадійному змішувачі для отримання стабільних пін в ПВХ. Схема виробництва пластмас в екструзійній установці (екструдері) показана на рис. 25.9.

Екструзія попередньо гранульованої полімерної маси здійснюється крізь пласкощільову голівку (фільтеру), що формує вироби.



*Рис. 25.9. Схема одногвинтового екструдера:
 1 — формуюча голівка; 2 — циліндр (робоча камера)
 екструдера; 3 — обігрівача сорочка корпусу; 4 — шнек (гвинт);
 5 — приймальний бункер*

Гранули, що потрапляють в екструдер через приймальний бункер 5, розм'якшуються, перемішуються до стану гомогенної в'язкої маси і шнеком просуваються у формуючу голівку 1. Необхідна температура в робочих зонах циліндра (звичайно 3 зони) екструдера підтримується за допомогою нагрітої води (гріючого агента), що циркулює по каналах обігрівачої сорочки корпусу 3. Робочим органом машини є нескінченний гвинт (шнек) 4, довжина якого звичайно рівна 15...18 його діаметрам. Екструдер може бути одно або двошнековим. У міру просування в робочій зоні корпусу від завантажувального бункера температура маси в циліндрі поступово зростає і біля формуючої голівки досягає 110...140 °С. Робоча температура голівки 145...155 °С. Температурний режим виробництва регулюється автоматично.

Спінений матеріал, що виходить з голівки екструдера, має добру формостійкість.

Властивості і застосування. Пінопласти ПВХ (на основі суспензійних смол), в залежності від густини, виробляють марок ПВХ-85, ПВХ-1-115, ПВХ-2-150 і ПВХ-2-195. Густина ПВХ-Е складає 100...300 кг/м³.

Плити ПВХ пінопласту звичайно випускають наступних розмірів (таблиця 25.3).

Таблиця 25.3.

Розміри плит пінопласту ПВХ

Найменування параметрів	Значення показників за марками матеріалу		
	ПВХ-1 (С) (жорсткий)	ПВХ-2 (С) (жорсткий)	ПВХ-Е (еластичний)
Довжина, мм	800	740	700
Ширина, мм	500	400	500
Товщина, мм	45;70	35;55	30;50

Основні експлуатаційні властивості ПВХ пінопластів залежно від марки показані в таблиці 25.4.

Таблиця 25.4.

Основні експлуатаційні властивості ПВХ пінопластів

Найменування характеристик	Значення показників пінопласту залежно від марки					
	Жорсткий				Еластичний ПВХ-Е	
	ПВХ-1-85	ПВХ-1-115	ПВХ-2-150	ПВХ-2-195	ПВХ-Е 100-170	ПВХ-Е 180-300
Водопоглинання за 24 год., не більше %	0,25	0,2	0,3	0,3	0,5	
Лужність в перерахунку на Na ₂ CO ₃ , % не більше	5	5	—	—	—	—
Лінійна усадка при 60°С, %, не більше	1	1	1	1	—	
Об'ємна усадка, %, не більше	—	—	—	—	20	15
Межа міцності на стискання, МПа, не менше	4	7	8	15	—	
Теплопровідність в сухому стані при T=298±5°K, Вт/мК, не більше	0,034...0,043				0,034...0,043	
Температура застосування, °С, не більше	+ 60				+ 60	

Полівінілхлоридні пінопласти застосовують для теплоізоляції тришарових захисних конструкцій в будівлях. Жорсткі ПВХ-пінопласти (ПВХ-1 і ПВХ-2), крім того, можуть використовуватися як обрамляючі елементи тришарових панелей.

На базі ПВХ виробляють також пінопласти для взуттєвої промисловості. Застосовують пінопласти також як фільтри, сепаратори і т.д. в інших галузях промисловості.

До групи ПВХ-пінопластів відноситься акриловінілхлоридний пінопласт, котрий отримують беспресовим методом з композиції на основі співполімера вінілхлорида з метилметакрилатом. Його властивості і галузь застосування аналогічні іншим типам пінопласту з ПВХ.

Зберігають пінопласти запакованими в папір, дерев'яні ящики або без упаковки в закритих приміщеннях при дотриманні умов температури та вологості.

25.4. Фенолоформальдегідний (PF) пінопласт (пінофенопласт)

Для отримання пінофенопластів (PF) з фенолоформальдегідних олігомерів як хімічний газоутворювач використовують 2,2-азобіс(ізобутиронітрил (порофор ЧХЗ-57), а також легкокиплячі рідини. Для підвищення міцності пінопластів до фенолоформальдегідних олігомерів додають бутадієн — стироловий каучук.

Можливість варіювання властивостями пінофенопластів в широких межах робить їх вельми універсальними, а тому і повсюдно поширеним матеріалом в різних галузях застосування. У якості теплої звукоізоляційних матеріалів вони широко використовуються перш за все в будівельних конструкціях, наприклад, при виготовленні стінових панелей «сендвічів» для «швидкого» будівництва.

Фенолоформальдегідні пінопласти відрізняються підвищеною температурою застосування і зниженою горючістю. Такі пінопласти виготовляють беспресовим (пінопласт тип 4 ФФ) і заливним (тип 4 ФРП) методами. У цивільному і промисловому будівництві застосовують в основному заливні пінопласти.

Недолік більшості типів вживаних фенолоформальдегідних теплої звукоізоляційних матеріалів — відкрита пориста структура, що обумовлює їх високу зволоженість. При зануренні у воду на 24 год. вони поглинають більше 10% вологи від всього об'єму. Саме з цієї причини подібні матеріали використовуються в закритих конструкціях (типу «сендвічів»).

В таблицях 25.5. і 25.6. наведені основні властивості фенолоформальдегідних пінопластів типа ФФ (ФК, ФС) і ФРП-1 (ГОСТ 22546).

Таблиця 25.5.

Основні характеристики фенопінопластів ФФ (ФК, ФС)

Найменування характеристик	Значення показників в залежності від марок			
	ФФ-170	ФФ-210	ФК-20	ФС-7-2
Густина, кг/м ³ , не більше	170	210	230	100
Міцність, МПа, не менше:				
на стискання	0,8	1,0	1,0	—
при вигині	—	—	—	0,3
при розтягуванні	—	—	2,0	—
Теплопровідність, Вт/мК, при температурі 298±5К, не більше	0,043	0,043	0,043	0,043
Температура застосування, °С, до:				
власне матеріал	150	150	150	150
у замкнених конструкціях без контакту з повітрям	200	200	200	200
з антипіреном (алюмінієвою пудрою)	—	—	300..400	—

Таблиця 25.6.

Основні характеристики фенолоформальдегідних пінопластів типу ФРП-1

Найменування характеристик	Значення показників залежно від густини (марки)	
	75	100
Густина в сухому стані, кг/м ³	65...85	86...110
Міцність на стискання при 10%-ній лінійній деформації, МПа	0,05...0,075	0,1...0,15
Межа міцності при вигині, МПа	0,1...0,125	0,15...0,2
Теплопровідність в сухому стані, Вт/мК, при середній температурі 298±5К, не більше	0,043	0,046
Температура застосування, °С, в межах	(;180Н + 130)	(;180И + 150)
Група горючості	П	П

Сировиною у виробництві пінопласту типу ФФ являється фенолоформальдегідний полімер, затверджувач (уротропін) і газоутворювач (карбонат і бікарбонат амонію, порофор ЧХЗ-57). У деякі його модифікації (ФК, ФС) додають вулканізатори (каучук, сірку). Для виробництва пінопласту типу ФРП-1 застосовують фенолоформальдегідну смолу в суміші з емульгатором і алюмінієвою пудрою. Для спінювання і затвердіння використовується склад, в який вводять ортофосфорну кислоту з сульфофенолсечовиною. Іноді до складу пінофенопластів вводять наповнювач — штапельне скловолокно.

Технологія виробництва пінофенопластів типу ФФ складається з двох основних етапів:

- приготування напівфабрикатів;
- спінювання напівфабрикатів у формах з подальшим затвердінням.

Компоненти спочатку просушують в спеціальній камері при $t_c = (40...50) \text{ } ^\circ\text{C}$. Потім тверді їх види змішують в кульовому млині протягом 2...12 год.

Одержану таким чином порошкоподібну суміш полімеру для затвердіння і газоутворення (напівфабрикат ФФ) направляють безпосередньо на спінювання.

Модифікації пінопласту ФФ (ФК і ФС) одержують з напівфабриката у вигляді плівки, шнура і порошку з подальшим формуванням виробів.

Так, для отримання комірчастих виробів (плит, шкаралуп і т.д.) напівфабрикати завантажують в змащені форми і нагрівають в спеціальних термокамерах. При $t = (80...90) \text{ } ^\circ\text{C}$ полімер

розм'якшується, при (90...110) °С починається розклад газоутворювача і спінювання маси, яка при цьому заповнює весь об'єм форми. Потім температуру піднімають до (150...200) °С і не знижують до повного затвердіння полімеру (і вулканізації каучука).

Тривалість витримки визначається складом композиції, властивостями полімера та інших компонентів, а також розмірами виробу і умовами термообробки. В середньому процес спінювання і затвердіння продовжується близько 5 год. Після охолодження завантаженої у форму однорідної суміші компонентів процес ведуть при наступних параметрах: температура (140...160) °С, тиск (1,5...2,5) МПа, тривалість (2,5...3,5) хв на мм товщини виробу.

Пінопласти типу ФРП отримують як на місці застосування, так і централізовано, у вигляді виробів, вироблених в промислових цехах. Технологічний процес отримання складається із змішування компонентів, заливки композиції в конструкції або спеціальні форми, її подальшого спінювання і затвердіння. Реакція взаємодії компонентів протікає з виділенням тепла, котре сприяє спінюванню і затвердінню пінопласту. Спінювання пінопласту відбувається внаслідок виділення газу при хімічній реакції алюмінію, що входить до складу смоли і кислоти.

Сировинні компоненти, що поставляються в бочках, зберігають в тарі в сухому приміщенні при температурі не вище 20 °С, оддалік джерел тепла. Приймальні ємності при централізованому зберіганні компонентів облаштовують підігрівачами і перемішувачами пристроями, а також подаючими механізмами для передачі компонентів у витратні ємності. Робоча температура компонентів при змішуванні $t_p = 25 \pm 5$ °С.

Співвідношення смоли і спінювача-затверджувача підбирається для кожної партії фенолоформальдегідної смоли залежно від необхідної густини виробу, температури підігріву компонентів і навколишнього середовища. Це співвідношення коливається звичайно в межах від 4/1 до 6/1.

Застосування. Пінофеноласти застосовують в основному для теплої звукоізоляції в тришарових захисних конструкціях. Для цієї мети використовують плити, а також напівфабрикати у вигляді вальцьованої плівки, шнура, крихти або порошка, котрі спінюються в процесі термічної обробки конструкцій.

Для отримання виробів у вигляді плит і сегментів, а також для заливки в порожнини конструкційних елементів будівель (тришарових панелей стін, підвісних стель, покриттів різного призначення) використовують заливні композиції, що містять рідкий резольний фенолформальдегідний полімер і рідкий спінюючо-затверджуючий агент. Спінювання і затвердіння пінопласту в порожнині будівельної конструкції відбувається без теплової обробки.

Пінофеноласти експлуатуються, як правило, при температурі від (-50) °С до (+100) °С.

25.5. Сечовиноформальдегідний пінопласт

Сечовиноформальдегідний пінопласт (міпора) вельми поширений як теплої звукоізоляційний матеріал в будівництві і інших галузях завдяки притаманним йому високим споживним властивостям.

Сировина. Основною сировиною для отримання сечовиноформальдегідного пінопласту (МФП) слугують сечовина, формалін, їдкий натр, гліцерин (пом'якшувальний засіб), суміш мурашиної, фосфорної або щавлевої кислот (композиція або продукт АВО), затверджувач — фосфорнокислий амоній (антипірен), а також піноутворювач, стабілізатор піни (резорцин) і вода.

Технологічний процес отримання сечовиноформальдегідного полімеру включає наступні основні операції:

- приготування полімеру формальдегіду (смоли);
- приготування розчину піноутворювача;
- змішування розчинів полімеру і піноутворювача;
- заповнення піномасою форм;
- попереднє затвердіння піномаси;
- сушка і повне затвердіння полімеру у виробках — блоках.

Принципова технологічна схема виробництва сечовиноформальдегідного пінопласту представлена на рис. 25.10.

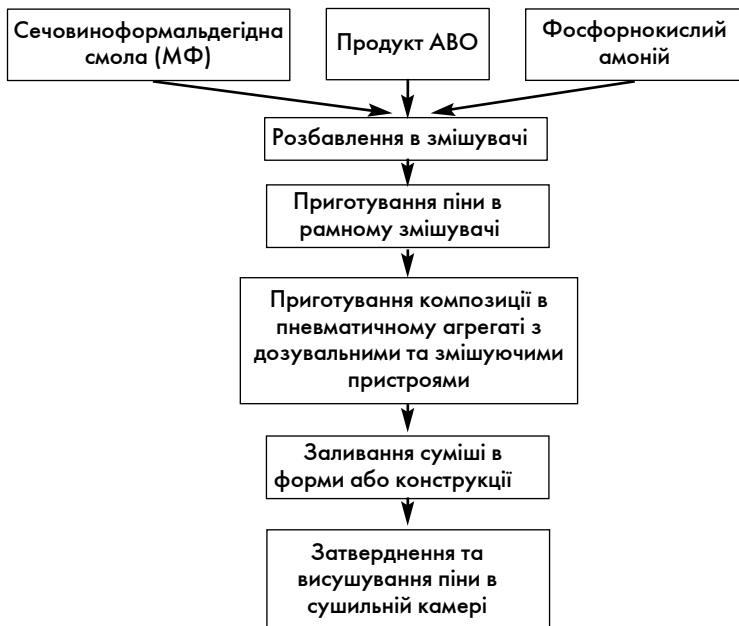


Рис. 25.10. Принципова технологічна схема виробництва сечовиноформальдегідного пінопласту

Процес виробництва СФП полягає в змішуванні заздалегідь спіненого стислим повітрям продукту АВО з водним розчином смоли МФ. Одержану піну заливають у форму або порожнину конструкції, що ізолюється, де вона протягом 2...4 год. проходить процес затвердіння. Через 2...7 діб композиційна маса висихає. Затверділі вироби виймають з форми і сушать в камері при $t_c = (30...50) ^\circ\text{C}$ протягом (60...80) год. Затверділа і висушена піна характеризується значною усадкою. Зменшення об'єму компенсується додатковою заливкою піни по периметру виробу. Піну можна заливати при будь-яких позитивних температурах, проте із зниженням температури зменшуються і швидкості затвердіння і висихання. Середня витрата матеріалів для приготування 1 м^3 пінопласту складає: сечовиноформальдегідної смоли — 37,5 кг; продукту АВО — 3,7 кг.

Властивості і застосування. Залежно від призначення, крім прямої заливки в порожнину ізолюючої конструкції, сечовиноформальдегідний пінопласт випускають у вигляді блоків, плит і крихти. Довжина блоків 950...1000 мм; ширина 440...500 мм, товщина (висота), 200...300 мм. Колір (природний) — від білого до жовтуватого, структура — дрібнозерниста, з великою кількістю пор, що сполучаються.

За густиною сечовиноформальдегідний пінопласт випускають двох марок — 10 і 25. Залежно від марки водопоглинання пінопласту за 24 год. коливається від 1,1 до $0,5 \text{ кг/м}^3$; теплопровідність при $T = 298 \pm 5 \text{ K}$ складає $0,03...0,032 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Робоча температура застосування пінопласту знаходиться в межах $(-180) ^\circ\text{C}...(+100) ^\circ\text{C}$. З добавкою антипірену не підтримує горіння (самозатухаючий). Теплопровідність пінопласту в межах застосування з температурою збільшується в 2 рази і при $100 ^\circ\text{C}$ складає $0,063 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (див. табл. 25.7.).

Таблиця 25.7.

Основні фізико-механічні властивості міпори

Найменування характеристик	Значення показників, залежно від марки	
	10	25
Густина, кг/м^3	10...15	20...25
Вміст вологи, %, не більше	2...4	2...4
Теплопровідність, Вт/мК	0,03	0,032
Вміст вільного альдегіду, мг/дм^3 , не більше	0,026...0,03	0,028...0,03250
Стисливість (зменшення об'єму) при навантаженні $0,01 \text{ МПа}$, %, не більше	50	4,5
Міцність при навантаженні $0,025 \text{ МПа}$	4,5	7...10

Недолік сечовиноформальдегідних пінопластів і, головним чином, у виробках міпори, що випускається промисловістю, — низька механічна міцність і мала водостійкість (легко вбирає воду), схильність до взаємодії з корозійними речовинами. Перевага — низька густина, а також вартість.

Зберігають вироби з сечовиноформальдегідного пінопласту (міпори) в сухих вентиляованих приміщеннях запакованими у водонепроникний папір або картонні коробки.

Сечовиноформальдегідний пінопласт застосовують в будівництві для теплоізоляції порожнистих стін, в холодильній техніці, при ізоляції вагонів і в інших галузях.

25.6. Пінопласт на основі поліуретанів

Поліуретановий пінопласт (пінополіуретан) у вигляді жорстких і еластичних (поролон) пінопластів з переважно замкнутою поровою структурою є ефективним теплої звукоізоляційним матеріалом.

Промисловість випускає жорсткий пінополіуретан у вигляді блоків, плит, напівциліндрів і циліндрів. На заводах легких металевих конструкцій пінополіуретан виготовляють у вигляді панелей, фанерованих алюмінієм або оцинкованих сталлю.

Процес виробництва поліуретанових пінопластів складається з операцій з приготування і змішування компонентів, заливки суміші у форми, спінування і затвердіння.

Матеріал створюється при взаємодії гідроксилмістких полієфірів з ізоціанатами і водою у присутності каталізаторів і стабілізаторів піни. Сировина. У виробництві поліуретанових пінопластів як вихідні матеріали використовуються складні або прості полієфіри, диізоціаніти (толуїлідіізоціанат і ін.), каталізатори (феноляти, піридин, диметиланілін, триетилендіамін), емульгатори (мила, натрієві солі сульфокислот), вода. В деяких випадках як спінувачі можуть вводитися фреони.

Для поліпшення спінування до складу композиції іноді вводяться пластифікатори (дибутилфталат, трикрезилфосфат і ін.). Фізико-механічні властивості матеріалу регулюються введенням до його складу наповнювача (порошкоподібний алюміній, сажа), антипіренів – фосфоромістких добавок. Потрібний колір (при необхідності) встановлюється введенням відповідного фарбника (пігменту).

В результаті хімічної реакції між полієфіром, ізоціанатом і водою виділяється вуглекислий газ, який спінує композицію. Каталізатори регулюють процес спінування і затвердіння композиції, а стабілізатори (емульгатори) підвищують спінуючу здатність і стійкість пористої структури пінопласту.

Технологія. Жорсткі та еластичні поліуретанові пінопласти (ПУ) виготовляються безперервним або періодичним способом.

Безперервна технологія на розливній машині показана на рис. 25.11. і включає наступні основні операції:

- дозування компонентів спеціальними дозуючими насосами і подача в змішувач;
- перемішування виготовлених компонентів;
- спінювання суміші і формування блоків пінопласту;
- витримка блоків пінопласту в камері визрівання;
- обрізання і розрізання блоків пінопласту для отримання виробів потрібної форми і розмірів.

Змішування попередньо підігрітого полієфіру, толуїлеїдиізоціаната і активаторної суміші (суміші каталізатора і емульгатора) проводять в змішувачі, встановленому на рухомій каретці. Робочий орган обертається із швидкістю 3000...5000 об/хв.

Після перемішування, однорідну масу тонким струменем виливають у форми, що розміщені на стрічці рухомого транспортера. Через 5...25 сек. у формі починається процес спінювання маси вуглекислим газом, що утворюється в процесі реакції між водою і вільними діізоціанатами. Тривалість спінювання 70...95 сек. Густина спіненої маси регулюється кількістю води і діізоціаната, доданих до полімеру. Чим більший їх вміст, тим нижча густина пінопласту.

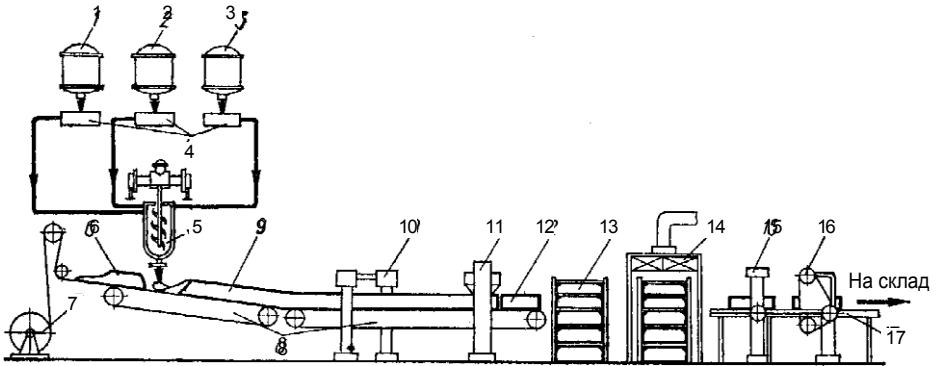


Рис. 25.11. Схема процесу виробництва пінополіуретанів безперервним методом: 1 — ємність для полієфіру; 2 — ємність для активаторної суміші; 3 — ємність для толуїлендіізоціаната; 4 — дозуючі насоси; 5 — змішувач на каретці; 6 — тристінна паперова форма; 7 — рулон паперу; 8 — транспортер; 9 — спінена маса в паперовій формі; 10 — верстат для зняття надлишку піни; 11 — верстат для розрізання стрічки на блоки; 12 — блок у формі; 13 — піддони з блоками; 14 — камера визрівання; 15 — верстат для горизонтального розрізання блоків; 16 — верстат для вертикального розрізання блоків; 17 — стіл упакування

Затвердіння спіненої у формі маси закінчується після проходження через багатоярусну камеру визрівання, обладнану системами обігріву і вентиляції. Вироби витримують в ній близько трьох діб. У разі, коли в камеру завантажують блоки заввишки до 400 мм або плити завтовшки 40...100 мм, теплова обробка виробів не потрібна, оскільки повне затвердіння полімеру відбувається за рахунок тепла, що виділяється в процесі реакції. При виготовленні тонких листів, термообробка відбувається з нагрівом до 100...120 °С.

Заготівки пінопласту, що виходять з камери визрівання у вигляді блоків плит і листів, розрізають на вертикальних і горизонтальних ножових машинах. Готові вироби запаковують і направляють на склад. В умовах періодичного технологічного процесу при температурі 60...80 °С в спеціальному реакторі-змішувачі готують, ретельно перемішуючи, суміш полієфіру з каталізатором, емульгатором і водою. Одержаний склад витримують при температурі 30...35 °С, потім змішують з толуїлідіізоціанатом протягом 1...2 хв. В результаті реакції, що відбувається, температура суміші підіймається на 5...10 °С, зростає її в'язкість і відбувається часткове спінування. Масу заливають у форми, де вона протягом 30...35 хв. остаточно спінується, набуваючи комірчастої структури. Залежно від розміру виробу для затвердіння полімеру застосовують термообробку або обходяться без неї. Пінополіуретани можуть бути також одержані методом напилення на поверхні різних матеріалів. У цьому варіанті використовують спеціальні установки, що складаються з ємностей, які обігріваються, для компонентів реакційної суміші, механічної мішалки, насосів і пістолета — розпилювача. Товщина шару напилення 5...50 мм. Властивості та застосування.

На основі поліуретанів випускаються різні види пінопластів:

- жорсткі, наприклад, марок ПУ-101, ППУ-3, ППУ-3С (самозатухаючий), ППУ-3Н, ППУ-304Н, ППУ-305, ППУ-305Н і ін.
- еластичні, марок ППУ-Е, ППУ-ЕТ, ППУ-ЕМ-1 і ін.

Жорсткі пінополіуретани виробляють в заводських умовах у вигляді штучних виробів або безпосередньо на будівельному майданчику, у вигляді приготовленої композиції, що заливається в порожнини будівельних конструкцій, а також напилюваної на поверхню конструктивних елементів.

Еластичні пінополіуретани випускають в заводських умовах у вигляді листів і полотен розмірами — по довжині (L), ширині (B), і товщині (H), мм:

- листів — (1000...2000) x (200...1000) x (3...400);
- полотен — (> 5000) x (850 x 1500) x 30.

Жорсткі пінополіуретани — матеріали із замкнутою структурою від білого і жовтого до коричневого кольору. Вони характеризуються водостійкістю, негігроскопічністю, стійкістю до бензину і змащувальних мастил, біостійкістю. Екологічно чистий матеріал.

Фізико-механічні властивості жорстких пінополіуретанів приведені в таблиці 25.8.

У таблиці 25.9. приводяться деякі показники поліуретанових пінопластів (PUR-пінопласту) відповідно до вимог європейських нормативів.

Еластичний пінополіуретан — це матеріал з переважанням відкритих комірок (пор), тому його правильніше класифікувати як поро пласт. Він має ті ж властивості, що і жорсткий пінополіуретан. Колір пластика — ясно-жовтий.

Фізико-механічні характеристики еластичного пінополіуретану наведені в таблиці 25.10.

Таблиця 25.8.

Основні фізико-механічні характеристики жорстких поліуретанових пінопластів

Найменування характеристик	Значення показників								
	Марки								
	ППУ-101	ППУ-101А	ППУ-101Б	ППУ-3	ППУ-3С	ППУ-305	ППУ-305А	ППУ-3Н	ППУ-304Н
Густина, кг/м ³	100	200	60	50...100	50	35...50	180...220	50	30...50
Водопоглинання за 24 год., кг/м ² , не більше	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	—	0,2	0,1
Теплопровідність, Вт/мК, не більше	0,023	0,042	0,023	—	0,028	0,026	—	0,03	0,026
Лінійна усадка за 24 год., %, не більше (при t _c)	0,3 (150°C)	0,5 (170°C)	0,6 (130°C)	1,0 (120°C)	—	1,0 (110°C)	1,0 (110°C)	—	1,0 (80°C)
Межа міцності на стискання, МПа, не менше	0,8	2,5	0,2	0,2	0,25	0,25	2,5	0,2	0,15
Межа міцності при вигині, МПа, не менше	—	—	—	—	0,2	—	—	0,5	0,2
Спалімість (Г ; спалимі, 3 – само; затухаючі)	Г	Г	Г	Г	3	Г	Г	3	3
Максимальна температура експлуатації, °С	150	170	100	120	60	120	60	60	60

Таблиця 25.9.

Основні будівельно-фізичні властивості PUR пінопласту.

Найменування характеристик	Значення показників	Нормативний документ
Коефіцієнт теплового розширення, м/м	(5;8);10;5	—
Вологопоглинання, мас.%, не більше	5	—
Дифузійний опір паропроникності	30...100	DIN 4108;4
Теплопровідність, Вт/мК: — з дифузійно;закритими порами (замкнутокомірчатий) — з дифузійно;відкритими поверхневими порами	0,025 0,030...0,035	DIN 4108;4

Таблиця 25.10.

Основні фізико-механічні характеристики еластичних пінополіуретанів

Найменування характеристик	Значення показників		
	Марки пінополіуретана		
	ППУ-Е	ППУ-ЕТ	ППУ-ЕМ-1
Густина, кг/м ³	25...60	30...50	30...40
Межа міцності при розтягуванні, МПа, не менше	0,12	0,1	0,11
Відносне подовження при розриві, %, не менше	150	100	150
Залишкова деформація при 50%-ному стисканні, (t _п =20°C), протягом 70 год, %, не більше	10	15	10
Залишкова міцність при циклічному стисканні (250000 циклів):			
залишкова деформація, %, не більше	10	—	—
зменшення жорсткості, %, не більше	60	50	—
Температура експлуатації, °C	(-15)-(+100)	(-20)-(+100)	(-50)-(+60)

Застосовують пінополіуретани в якості теплої звукоізолюючої підоснови рулонних оздоблювальних матеріалів для підлоги і стін, герметиків у великопанельному будівництві, теплої звукоізоляційних заливок в порожнини захисних конструкцій і панелей, оболонки, для ізоляції холодильних установок, трубопроводів, контейнерів. Широко використовують пінополіуретани у виробництві меблів, в побуті.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Дайте визначення термопластичним і термореактивним полімерам.
2. До якого класу матеріалів за показником спалюваності відносять пінопласти?

3. Наведіть основні фізико-технічні властивості пінополістирола за німецькими стандартами DIN 18164 та DIN(EN) 13163.
4. З якою метою у виробництві пінополістиролу використовують антипірени?
5. Опишіть технологічний процес виробництва пінополістирола: а) безпресовим методом; б) пресовим методом; в) методом екструзії.
6. Назовіть основні споживні властивості пінополістиролу та області його застосування.
7. Дайте визначення пінополіетилену та пінополівінілхлориду.
8. Визначте основні споживні властивості ПВХ пінопласту.
9. Наведіть марки та основні характеристики фенолоформальдегідних пінопластів.
10. Яка сировина використовується для отримання сечовиноформальдегідного пінопласту?
11. В яких будівельних конструкціях в основному використовується поліуретановий пінопласт?
12. Наведіть марки та основні характеристики жорстких та еластичних пінополіуретанів.

Рекомендована навчально-методична література

1. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ:ТОВ УВПК "Екс ОБ", 2004. — 704 с.
2. Горлов О.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов, Москва, Стройиздат, 1980. — 398 с.
3. Почапский Н.Ф. Основы технологии пластмассовых строительных материалов и изделий . — Киев, Высшая школа, 1975. — 319 с.
4. BASF Plastics, Стиродур® свойства и применения BASF Aktiengesellschaft, 2, 1997 — 48 с.
5. ДСТУ БВ 2.7-8-94 "Плити піно полістирольні. Технічні умови"
6. Сухарев М.Ф., Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Производство теплоизоляционных материалов. «Высшая школа»: М., 1981. — 231 с.
7. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова Ізоляція Будівель. Мінрегіонбуд України, 2017
8. ДСТУ EN 13163:2012 "Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із спіненого полістиролу (EPS). Технічні умови (EN 13163:2008, IDT)".
9. ДТУ Б EN 13164:2013 "Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із екструдованого полістиролу (XPS). Технічні умови (EN 13164:2008, IDT)"

РОЗДІЛ VI.
**ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ
СИЛІКАТОВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ
З ПІНОПЛАСТУ ДЛЯ ТЕПЛО- ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

§26. Застосування силікатоволокнистих (мінерально- і скловатних матеріалів) і виробів з пінопласту для тепло- та звукоізоляції будівель і споруд

В усьому світі питання ресурсо- і енергозбереження стають все більш актуальними, а їх успішне вирішення забезпечується не тільки пошуком альтернативних, у тому числі відновлюваних джерел енергії, але і повсюдним впровадженням енергозберігаючих технологій, облаштуванням ефективних систем теплоізоляції на основі сучасних конкурентноздатних ізоляційних матеріалів.

Безумовно, вибір утеплювача для житлового будинка диктується конкретними умовами: конструктивними і архітектурними рішеннями, організацією будівельного процесу, умовами експлуатації, економічними міркуваннями і т.ін.

Для порівняння в таблиці 26.1. наведена товщина ізолюючих шарів різних матеріалів, що мають однаковий термоопір R.

Таблиця 26.1.

Порівняльна товщина шару утеплювача конструкції виконаного з різних матеріалів

Найменування матеріалу	Товщина шару, см
Пінополіуретан	1,5
Пінополістирол (залежно від способу виробництва)	2,2-2,6
Силікатоволокнисті вироби (залежно від типу і марки)	2,4-2,8
Корок	3,4
Перліт	3,4
ДВП (ізоляційна)	3,4
Піноскло	3,8
Фіброліт	6,8
Газобетон	9,0
Дерево	9,8
Високопориста цегла	15,8
Полегшена цегла	37,1
Силікатна цегла	52,5
Важкий (щільний) бетон	158,0

З таблиці видно, що в будівництві (для огороджуючих конструкцій) найбільш перспективним є застосування утеплювачів з силікатоволокнистих матеріалів і пінопластів, перш за все пінополістиролу і пінополіуретану.

26.1. Основне призначення силікатоволокнистих матеріалів і виробів з пінопласту при облаштуванні систем теплоізоляції будівель і забезпеченні комфортного мікроклімату в приміщенні

Відмінні тепло- і звукоізолюючі властивості виробів з силікатоволокнистих матеріалів і пінопласту, різноманітність технологічних прийомів отримання таких виробів з необхідними експлуатаційними властивостями (густина, міцність, вогнеі водостійкість, теплофізичні показники і т.д.) роблять цю продукцію практично незамінною в будівництві, промисловості і сільському господарстві. Останнім часом подібні теплоізоляційні матеріали практично повсюдно використовують в будівельному виробництві: як при новому будівництві, так і при санації старих будівель, особливо це стосується споруд, що збудовані в 60-х...90-х р.р. минулого століття в період масового будівництва індустріального житла.

Якщо взяти до уваги, що понад 40% виробленої в Україні енергії споживається на потреби житлово-комунального господарства, то стає зрозумілою актуальність енергозбереження перш за все в цій господарській галузі економіки країни. Для порівняння, в Німеччині, що є лідером серед країн Європи в питаннях енергозбереження, витрати на обігрів будівель складають близько 30% загального обсягу спожитої енергії і є найбільш великими порівняно з іншими господарськими галузями. В умовах, коли рівень технологічного розвитку України майже на третину менший, ніж у Німеччині при питомому річному енергоспоживанні відповідно 1565 кг/люд і 2705 кг/люд, питання суттєвого зниження споживання енергії в комунальному секторі набуває стратегічного рівня.

При недостатньому теплозахисті будівлі до 40% енергії, спожитої на опалення, витрачається марно через зовнішні огороджуючі стіни. Істотне значення для енергозбереження має скорочення й інших тепловтрат через конструктивні елементи будівлі.

Облаштування ефективної системи теплоізоляції, за інших рівних умов, можливе після ретельного аналізу тепловтрат, характерних для новозбудованого або житлового будинку, що експлуатується (тепловий аудит), на підставі результатів якого складається енергетичний паспорт будинку.

На рис. 26.1. показані тепловтрати середньостатистичної української будівлі через її конструктивні елементи: стіни, вікна, підвали, дах і т.д.

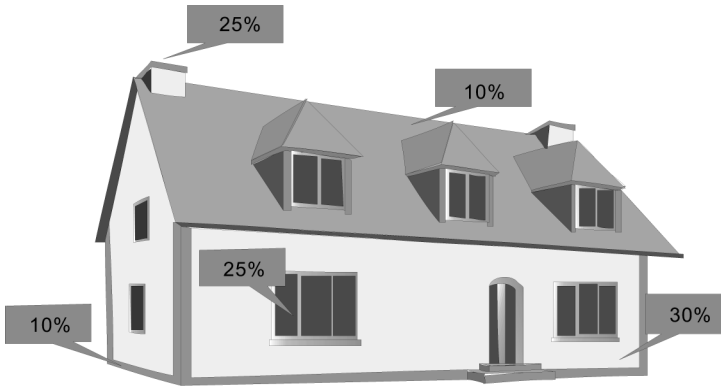


Рис. 26.1. Тепловтрати через конструктивні елементи будівлі

Економія дорогоцінної енергії — найбільш ефективний шлях збереження ресурсів для майбутніх поколінь. Поняття заощадження енергії у сфері житлово-комунального господарства включає зниження енерговитрат на опалювання і кондиціонування повітря зі всіма наслідками, що випливають з цього: скорочення витрат палива, зниження викидів CO₂, зменшення шкоди навколишньому середовищу, або поліпшення екології і збереження природи.

Крім того, зниження рівня енерговитрат при тепловій ізоляції будівель, разом з істотним внеском в вирішення загальносвітових проблем, дозволить не тільки скоротити до мінімуму загальні тепловтрати будівлі і енерговитрати на ЖКГ в цілому, але і забезпечити в приміщеннях здорові комфортні умови перебування.

Проблема неприємних наслідків недостатнього термоопору огорожувальних конструкцій будівлі знайома багатьом, і перш за все мешканцям будинків, побудованих в 60-і...90-і роки минулого століття: нагрівальні прилади розжарені, а відчуття тепла в кімнаті немає, при тому, що повітря в кімнаті здається гарячим і сухим. Одночасно по кімнаті «гуляють» холодні протяги (рис. 26.2.) — джерело незадовільного загального стану і багатьох хвороб мешканців приміщення.

Причина цього явища, перш за все, — в незадовільному тепловому захисті зовнішніх стін і вікон. При неякісній ізоляції внутрішні поверхні стін залишаються порівняно холодними, навіть якщо температура повітря в приміщенні перевищує позначку 20 °С. Під час посправжньому холодних періодів року температура

внутрішніх поверхонь зовнішніх стін часто не підіймається вище 5...15 °С. Те, що в таких умовах людина відчуває фізичний дискомфорт, пояснюється безперервним і безпосереднім теплообміном між нею і стінами, що її оточують. Людина поглинає тепло і одночасно, в умовах постійного руху навколишнього повітря, його віддає. Чим більша різниця між температурами тіла і поверхонь стін, тим більше власного тепла віддає людина навколишнім поверхням. Результат відомий: людина замерзає.

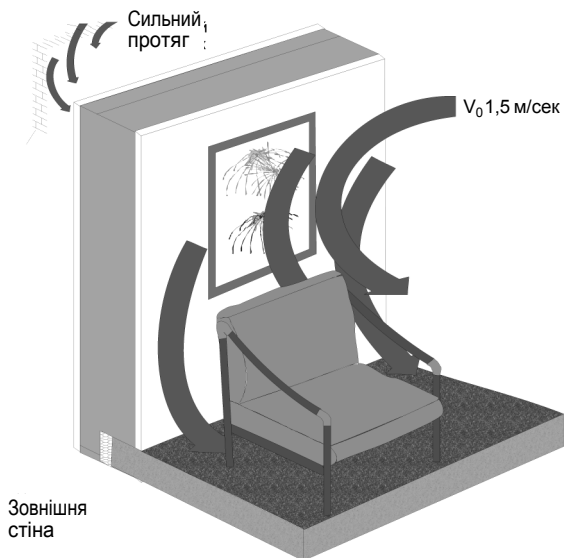


Рис. 26.2. Циркуляція потоків повітря в приміщенні з неізольованими захисними конструкціями (взимку)

Для відчуття комфорту значення має не тільки температура повітря в приміщенні, його визначає температура всіх внутрішніх поверхонь приміщення, включаючи вікна. Якщо різниця температури стін і повітря не перевищує 2...3 °С (але не більше 5 °С) вищеописаний ефект в приміщенні виключений: людина відчуває м'який приємний рух теплого повітря, протяги відсутні, їй затишно і тепло (рис. 26.3.).

Важливість одночасного забезпечення енергоефективності будівель і санітарно-гігієнічних вимог щодо різниці між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції надійшла підтвердження включенням цих параметрів у обов'язкові вимоги ДБН В.2.6-31:2016.

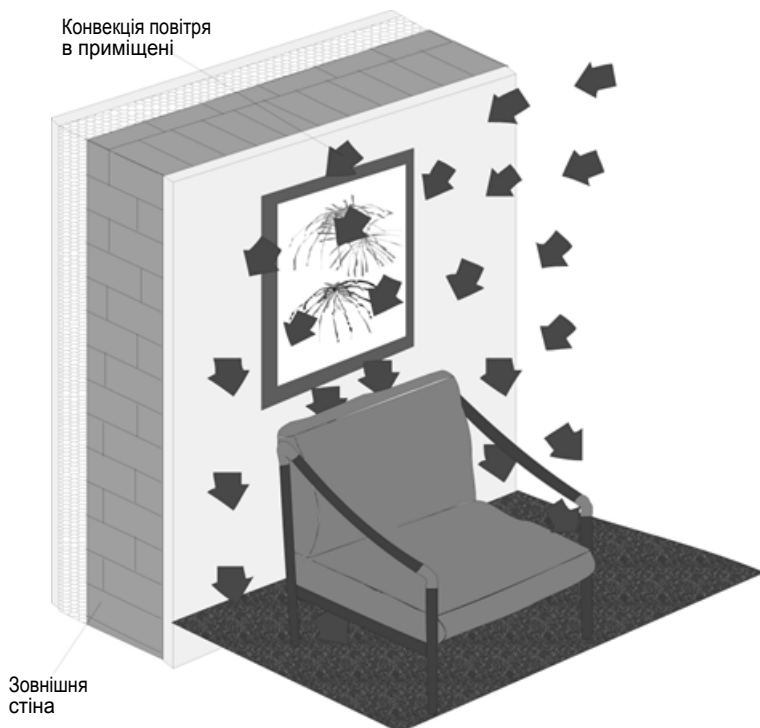


Рис. 26.3. Формування мікроклімату в приміщенні з теплоізолюваними захисними конструкціями

Виходячи з температури зовнішнього повітря, нормативні вимоги також обмежують мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень, у кутах і укосах віконних і дверних прорізів, на внутрішній поверхні мансардних вікон та зенітних ліхтарів, допускаючи її значення не менше, ніж температура точки роси. Порушення цієї вимоги призводить до зволоження конструкцій і матеріалів за рахунок утворення конденсату, появи хвороботворного грибка і плісняви (рис. 26.4.).

Крім того, дуже важливо при забезпеченні комфортних умов в приміщенні, в період зимових холодів, зберегти прохолоду в жаркий літній час. Це особливо актуально для мансардних приміщень, які при недостатньому теплозахисті покрівлі прогріваються під дією сильного сонячного випромінювання. Для забезпечення найсприятливішого мікроклімату жаркими літніми днями необхідна висока температурна інерційність, відповідна так званому «фазовому зсуву». Під ним розуміється часовий проміжок, після закінчення якого внутрішня температура в

приміщенні стає рівною зовнішній, інакше кажучи, хвилеподібно переходить в іншу фазу. Тому ефективне облаштування теплозахисту визначається не тільки забезпеченням мінімальних тепловтрат, але і, як наслідок, створенням оптимального за тривалістю «фазового зсуву» (інерційності температур), в найекстремальніших зовнішніх умовах; іншими словами, кваліфікованим застосуванням не тільки найбільш ефективної в конкретних умовах системи теплоізоляції, але і використанням в ній відповідного, конкурентноздатного і стабільного утеплювача — оптимального для галузі застосування, типу виробу з урахуванням його теплофізичних і фізико-механічних характеристик.

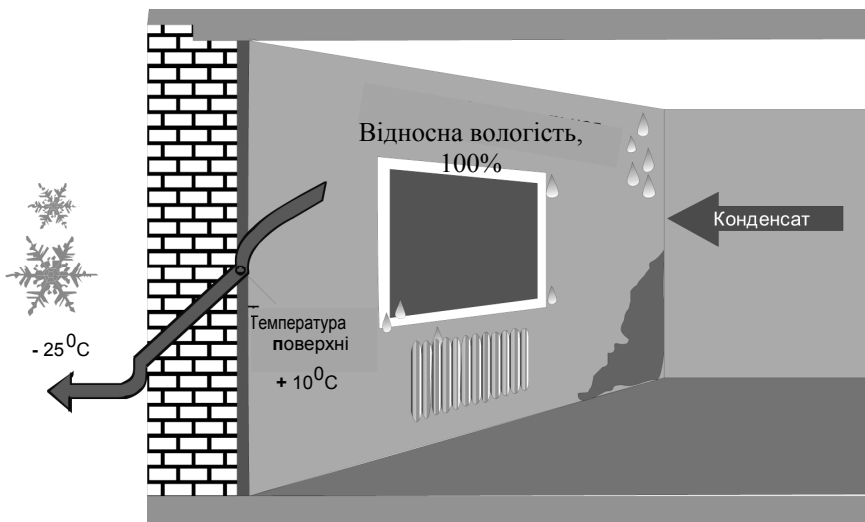


Рис. 26.4. Випадання конденсату при пониженні температури поверхні стіни усередині приміщення

Під вибором системи теплоізоляції, при цьому, розуміється облаштування утеплення не тільки фасадів, але і всіх елементів будівлі, через які, в основному, йде тепло: дах, вікна, підвали і т.д. Для забезпечення надійної теплоізоляції будівлі протягом розрахункового терміну експлуатації необхідно виконувати вимоги чинних нормативних актів і документів, якими визначено технічні, економічні і технологічні параметри влаштування сучасної теплоізоляційної оболонки будівлі.

26.2. Теплофізичні характеристики ізоляційних матеріалів. Основи європейської стандартизації. Загальні вимоги до облаштування теплозахисту будівель

26.2.1. Експлуатаційні вимоги до теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні вироби (з силікатоволокнистих матеріалів і пінопласту), як вже було показано вище, випускаються різноманітної форми, густини, фізико-хімічного складу і, отже, мають вельми широкий спектр показників міцності, еластичності, атмосферостійкості, вогнестійкості, теплофізичних характеристик. Тому, при кваліфікованому підході, завжди можна підібрати оптимальний матеріал для теплоізоляції будь-якої частини будівлі. В таблиці 26.2. наведені основні тепло і фізико-механічні характеристики різних видів теплоізоляційних виробів і рекомендовані галузі їх застосування, які враховують проведене в національних нормативних документах запровадження вимог європейських норм.

26.2.2. Основи європейської стандартизації теплоізоляційних матеріалів. Експлуатаційні вимоги

Тенденції міжнародної інтеграції і відповідного взаємопроникнення продукції будівельної індустрії і будівельних технологій обумовлюють необхідність гармонізації вітчизняної і європейської нормативно-технічної бази галузі.

З цієї точки зору, безумовно, є доцільним знайомство з основними європейськими нормативами з облаштування тепло- і звукозахисту будівель і споруд.

DIN EN 13162.

DIN EN 13162 «Ізоляційні матеріали для будівель промислова продукція з мінеральної вати (MW)», діє з березня 2002 р.

Містить вимоги до ізоляційних матеріалів і виробів, які використовують для утеплення будівель. В документі викладені наступні основні положення:

- вимоги до продукції;
- методика перевірки якісних показників;
- шифри позначення різних видів продукції;
- визначення оцінки відповідності;
- вимоги до маркування.

DIN V 4108-10.

DIN V 4108-10 «Тепловий захист і економія електроенергії в будівлях; вимоги до теплоізоляційних матеріалів.

Таблиця 26.2. (А)

Основні експлуатаційні характеристики силікатоволокнистих матеріалів і виробів з пінопласту для облаштування теплоізоляції будівель і споруд

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик					
	В сухому стані				Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації, W, %	
	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, с, кДж/кг·К	Теплопровідність, λ , Вт/мК			
				А	Б	
1. Силікатоволокнисті матеріали і вироби Рихла склої мінеральна вата	40-100					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції горизонтальних поверхонь за відсутності механічного навантаження на ізолюючий шар:						
<input checked="" type="checkbox"/> вата з мінерального волокна	40 80 100	0,84 0,84 0,84	0,039 0,045 0,050	2 2 2	5 5 5	
<input checked="" type="checkbox"/> вата скловолокниста	40	0,84	0,037	2	5	
Мати силікатоволокнисті						
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції горизонтальних поверхонь (без механічного навантаження)						
<input checked="" type="checkbox"/> мати зі скляного штапельного волокна, отриманого вертикальним роздувом	25 35 40	0,84 0,84 0,84	0,047 0,047 0,047	2 2 2	5 5 5	
Мати Силікатооволокнисті та просочені в'язучою речовиною	25-125					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції поверхонь (без механічного навантаження);						
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції комунікацій (повітровідвідів і трубопроводів)						
<input checked="" type="checkbox"/> мати мінераловатні прошивні (будівельні)	70 95	0,84 0,84	0,041 0,043	2 2	5 5	

Таблиця 26.2. (Б)

Основні експлуатаційні характеристики силікатоволокнистих матеріалів і виробів з пінопласту для облаштування теплоізоляції будівель і споруд

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	Розрахункові показники в умовах експлуатації				
	Теплопровідність, λ , Вт/мК		Коефіцієнт теплозасвоєння, S, Вт/м ² К		Паропроникність, μ , мг/м·год·Па
	А	Б	А	Б	А, Б
1. Силікатоволокнисті матеріали і вироби Рихла склої мінеральна вата					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції горизонтальних поверхонь за відсутності механічного навантаження на ізолюючий шар:					
■ вата з мінерального волокна	0,054 0,060 0,064	0,057 0,064 0,070	0,35 0,55 0,71	0,41 0,61 0,80	0,59 0,40 0,30
■ вата скловолокниста	0,044	0,046	0,36	0,40	0,60
Мати силікатоволокнисті					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції горизонтальних поверхонь (без механічного навантаження)					
■ мати зі скляного штапельного волокна, отриманого вертикальним роздувом	0,061 0,060 0,061	0,065 0,064 0,065	0,32 0,38 0,45	0,35 0,41 0,49	0,62 0,060 0,060
Мати Силікатооволокнисті та просочені в'язучою речовиною					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції поверхонь (без механічного навантаження);					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції комунікацій (повітровідводів і трубопроводів)					
■ мати мінераловатні прошивні (будівельні)	0,49 0,053	0,054 0,059	0,48 0,58	0,54 0,66	0,49 0,040

Таблиця 26.2. (А) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	В сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації, W, %	
	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, с, кДж/кг·К	Теплопровідність, λ , Вт/мК		
■ мати мінераловатні прошивні (теплоізоляційні)	50	0,84	0,038	2	5
	75	0,84	0,048	2	5
	125	0,84	0,050	2	5
■ мати зі скляного штапельного волокна, отриманого центробіжно-фільтрnodуттевим способом — ЦФДС (вміст в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	10	0,84	0,043	1	4
■ мати зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (вміст в'язучого 4,0-4,5 мас.%)	10	0,84	0,043	1	3
	15	0,84	0,046	1	3
■ мати ламельні мінераловатні	40-50	0,84	0,039	2	5
■ мати армовані	35-40	0,84	0,036	2	5
Плити силікатоволокнисті					
Плити м'які	30-80				
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції конструкцій за відсутності механічного навантаження;					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції застосування в вентилярованих фасадах і збірних залізобетонних плитах;					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції фасадів за системою типу «Серпарок» (див.нижче)					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції та створення противітрового захисту					
■ плити з мінераловатного волокна на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 3,54,2 мас.%)	30-50	0,84	0,039-0,04	0,5	1,0
■ плити з мінераловатного волокна на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 4,0-5,0 мас.%)	60-80	0,84	0,041-0,042	0,5	1,0

Таблиця 26.2. (Б) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	Розрахункові показники в умовах експлуатації				
	Теплопровідність, λ , Вт/мК		Коефіцієнт теплозасвоєння, S , Вт/м ² К		Паропроникність, μ , мг/м·год·Па
	А	Б	А	Б	А, Б
■ мати мінераловатні прошивні (теплоізоляційні)	0,045	0,048	0,39	0,43	0,59
	0,060	0,064	0,55	0,61	0,49
	0,064	0,070	0,73	0,82	0,30
■ мати зі скляного штапельного волокна, отриманого центробіжно- фільтрnodуттвовим способом ЦФДС (вміст в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	0,050	0,053	0,18	0,19	0,55
■ мати зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (вміст в'язучого 4,0-4,5 мас.%)	0,047	0,052	0,19	0,20	0,60
	0,051	0,054	0,23	0,24	0,63
■ мати ламельні мінераловатні	0,046	0,045	0,4	0,042	0,1
■ мати армовані	0,042	0,045	0,039	0,41	0,61
Плити силікатоволокнисті					
Плити м'які					
□ для теплоізоляції конструкцій за відсутності механічного навантаження;					
□ для теплоізоляції і застосування у вентильованих фасадах і збірних залізобетонних плитах;					
□ для теплоізоляції фасадів за системою типу «Серпарок» (див.нижче)					
□ для теплоізоляції та створення противітрового захисту					
■ плити з мінераловатного волокна на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 3,5- 4,2 мас.%)	0,041- 0,044	0,042- 0,045	0,26- 0,36	0,30- 0,37	0,52- 0,55
■ плити з мінераловатного волокна на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 4,0- 5,0 мас.%)	0,044- 0,045	0,045- 0,046	0,39- 0,50	0,40- 0,53	0,49- 0,54

Таблиця 26.2. (А) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	В сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації, W_v , %	
	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, c , кДж/кг·К	Теплопровідність, λ , Вт/мК		
■ плити мінераловатні гофрованої структури	70	0,84	0,42	2	5
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого вертикальним роздувом	75	0,84	0,047	2	5
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (вмістом в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	55	0,84	0,038	1	4
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (з вмістом в'язучого 4,0-4,5 мас.%)	80	0,84	0,037	1	4
■ плити негорючі теплоізоляційні базальто-волокнисті	40-90	0,84	0,041-0,045	2	5
Плити напівжорсткі					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції дахів, (за відсутності навантаження); <input type="checkbox"/> для теплоізоляції вентильованих фасадів та вітрозахисту; <input type="checkbox"/> для теплоізоляції фасадів за системою «Серпарок»					
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому— вміст в'язучого: 3,5-4,2 мас.% 4,0-5,0 мас.%	110 110	0,84 0,84	0,038 0,042	0,5 0,5	1,0 1,0
Плити жорсткі	130-150				
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції фасадів («мокрим» способом) з захисною та оздоблювальною штукатуркою типу ССТ (система скріпленої теплоізоляції);					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції поверхонь, що знаходяться під дахом та без нього (прямолінійних, криволінійних)					

Таблиця 26.2. (Б) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	Розрахункові показники в умовах експлуатації				
	Теплопровідність, λ , Вт/мК		Коефіцієнт теплозасвоєння, S, Вт/м ² К		Паропроникність, μ , мг/м·год·Па
	А	Б	А	Б	А, Б
■ плити мінераловатні гофрованої структури	0,050	0,055	0,49	0,54	0,54
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого вертикальним роздувом	0,062	0,067	0,56	0,62	0,58
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (вмістом в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	0,045	0,048	0,38	0,42	0,49
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (з вмістом в'язучого 4,0-4,5 мас.%)	0,042	0,049	0,48	0,52	0,47
■ плити негорючі теплоізоляційні базальто-волокнисті	0,050-0,060	0,054-0,064	0,48-0,55	0,54-0,61	0,49-0,50
Плити напівжорсткі					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції дахів, (за відсутності навантаження); <input type="checkbox"/> для теплоізоляції вентильованих фасадів та вітрозахисту; <input type="checkbox"/> для теплоізоляції фасадів за системою «Серпарок»					
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому— вміст в'язучого: 3,5-4,2 мас. % 4,0-5,0 мас. %	0,043 0,045	0,044 0,047	0,55 0,56	0,56 0,57	0,45 0,45
Плити жорсткі					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції фасадів («мокрим» способом) з захисною та оздоблювальною штукатуркою типу ССТ (система скріпленої теплоізоляції);					
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції поверхонь, що знаходяться під дахом та без нього (прямолінійних, криволінійних)					

Таблиця 26.2. (А) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	В сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації, W, %	
	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, c , кДж/кг·К	Теплопровідність, λ , Вт/мК		
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції будівельних конструкцій					
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 3,5-4,2 мас.%)	140	0,84	0,39	0,5	1,0
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 6,5-8,0 мас.%)	150	0,84	0,044	2	5
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (з вмістом в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	140	0,84	0,040	1	4
2. Матеріали та вироби з пінопласту					
Пінополістирол					
<input type="checkbox"/> для ізоляції поверхонь за відсутності механічного навантаження на ізолюючий шар					
■ блоки пінополістирольні	20	1,45	0,038	2	10
■ плити пінополістирольні	15	1,34	0,040	2	10
■ плити пінополістирольні екструзійні	20	1,34	0,037	2	10
<input type="checkbox"/> для облаштування систем теплоізоляції, що працюють в умовах дії механічних навантажень різної інтенсивності					
■ блоки пінополістирольні	30	1,45	0,035	2	10
■ плити пінополістирольні	25	1,34	0,038	2	10
	35	1,34	0,037	2	10
	50	1,34	0,034	2	10
■ плити пінополістирольні екструзійні	25	1,34	0,036	2	10
	30	1,34	0,035	2	10
	40	1,45	0,034	1	2

Таблиця 26.2. (Б) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	Розрахункові показники в умовах експлуатації				
	Теплопровідність, λ , Вт/мК		Коефіцієнт теплозасвоєння, S, Вт/м ² К		Паропроникність, μ , мг/м·год·Па
	А	Б	А	Б	А, Б
<input type="checkbox"/> для теплоізоляції будівельних конструкцій					
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 3,5-4,2 мас.%)	0,044	0,045	0,062	0,61	0,41
■ плити мінераловатні на синтетичному в'язучому (вміст в'язучого 6,5-8,0 мас.%)	0,054	0,064	0,76	0,88	0,45
■ плити зі скляного штапельного волокна, отриманого ЦФДС (з вмістом в'язучого 3,5-4,0 мас.%)	0,049	0,051	0,66	0,73	0,41
2. Матеріали та вироби з пінопласту Пінополістирол					
<input type="checkbox"/> для ізоляції поверхонь за відсутності механічного навантаження на ізолюючий шар					
■ блоки пінополістирольні	0,044	0,045	0,24	0,35	0,04
■ плити пінополістирольні	0,045	0,055	0,28	0,33	0,05
■ плити пінополістирольні екструзійні	0,039	0,41	0,29	0,32	0,02
<input type="checkbox"/> для облаштування систем теплоізоляції, що працюють в умовах дії механічних навантажень різної інтенсивності					
■ блоки пінополістирольні	0,041	0,043	0,29	0,42	0,04
■ плити пінополістирольні	0,043	0,053	0,34	0,40	0,05
	0,041	0,050	0,40	0,46	0,05
	0,040	0,045	0,46	0,53	0,05
■ плити пінополістирольні екструзійні	0,038	0,040	0,32	0,36	0,02
	0,037	0,039	0,34	0,39	0,02
	0,037	0,037	0,40	0,40	0,025

Таблиця 26.2. (А) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	В сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації, W, %	
	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, c , кДж/кг·К	Теплопровідність, λ , Вт/мК		
Пінополіуретан					
□ для облаштування систем теплоізоляції, що працюють в умовах дії механічних навантажень різної інтенсивності	40	1,47	0,029	2	5
	60	1,47	0,035	2	5
■ вироби з жорсткого пінополіуретану	80	1,47	0,041	2	5
Феноло-формальдегідний пінопласт					
□ для облаштування систем теплоізоляції різноманітного призначення, поверхні котрих можуть піддаватися дії механічних навантажень	40	1,68	0,038	5	20
	50	1,68	0,041	5	20
■ плити з фенольноформальдегідного пінопласту	100	1,68	0,047	5	20
Карбамідноформальдегідний пінопласт					
■ для облаштування систем теплоізоляції різного призначення	1,5	1,68	0,047	7	30
	25	1,68	0,043	7	30
	30	1,68	0,041	7	30
Поліетиленовий пінопласт					
■ Поліетиленовий пінопласт — для облаштування ізоляційних систем з необхідними підвищеними характеристиками жорсткості і міцності при вигині	30	1,34	0,043	2	5
	50	1,34	0,039	2	5

Таблиця 26.2. (Б) Продовження

Матеріал (виріб) галузь застосування	Значення експлуатаційних характеристик				
	Розрахункові показники в умовах експлуатації				
	Теплопровідність, λ , Вт/мК		Коефіцієнт теплосасвоєння, S, Вт/м ² К		Паропроникність, μ , мг/м·год·Па
	А	Б	А	Б	А, Б
Пінополіуретан					
□ для облаштування систем теплоізоляції, що працюють в умовах дії механічних навантажень різної інтенсивності	0,040 0,041 0,050	0,040 0,041 0,050	0,40 0,53 0,67	0,42 0,55 0,70	0,05 0,05 0,05
■ вироби з жорсткого пінополіуретану					
Феноло-формальдегідний пінопласт					
□ для облаштування систем теплоізоляції різноманітного призначення, поверхні котрих можуть піддаватися дії механічних навантажень	0,041 0,050 0,052	0,060 0,064 0,076	0,48 0,59 0,85	0,66 0,77 1,18	0,23 0,23 0,15
■ плити фенольноформальдегідного пінопласту					
Карбамідноформальдегідний пінопласт					
■ для облаштування систем теплоізоляції різного призначення	0,058 0,063 0,070	0,064 0,063 0,085	0,27 0,36 0,42	0,34 0,47 0,56	0,51 0,42 0,40
Поліетиленовий пінопласт					
■ Поліетиленовий пінопласт — для облаштування ізоляційних систем з необхідними підвищеними характеристиками жорсткості і міцності при вигині	0,044 0,042	0,047 0,045	0,30 0,38	0,33 0,41	0,02 0,02

Частина 10: «Промислові теплоізоляційні матеріали».

В документі сформульовані вимоги до певних, залежно від призначення, властивостей продукції (наприклад, гідроізолюючі — для фасадних теплозахисних панелей, ізоляція від ударного шуму і т.д.)

Тут також дається визначення деяких умовних (скорочених) позначень властивостей і відповідно, галузі застосування продукції (див. таблиці 26.3...26.7).

Наводяться загальні вимоги до якості згідно стандарту DIN EN 13162:

- *Теплопровідність (λ) і термоопір R_o*

Визначальними величинами теплоізолюючих властивостей матеріалів є показники теплопровідності λ і термоопору R_o .

Номінальні значення цих показників повинні бути вказані як граничні, що характеризують не менше 90% продукції з ймовірністю 90%.

- *Довжина і ширина.*

Жоден з отриманих результатів випробувань не повинен відрізнятись від нормативу більш ніж на $\pm 2\%$ по довжині і $\pm 1,5\%$ по ширині виробу.

- *Товщина.*

Товщину в межах класів допуску T1...T5 слід виміряти під дією навантаження 50 Па; для ізоляції від ударного шуму (класи T6...T7) — 250 Па.

Таблиця 26.3.

Допустимі граничні відхилення за номінальною товщиною

Ступені або класи	Граничні значення	
T1	-5% або -5 мм*	Порушення допустиме
T2	-5% або -5 мм*	+ 15% або + 15мм**
T3	-3% або -3 мм*	+ 10% або + 10мм**
T4	-3% або -3 мм*	+5% або +5 мм**
T5	-1% або -1 мм*	+3 мм
* значущим є найбільше числове значення		
** значущим є найменше числове значення		

Таблиця 26.4.

Класи граничних значень товщини

Ступені або класи	Граничні значення	
T6	-5% або -1 мм* *	+15%, або+3 мм*
T7	0	+10% або+2 мм*
* значущим є найбільше числове значення		

Таблиця 26.5.

Єврокласи/основні класи та їхні визначення за ISO 9705

Єврокласи	Час до займання
Євроклас А1	спалахування немає; тепло- та згоряння <2 MJ/кг
Євроклас А1	спалахування немає; тепло- та згоряння <3 MJ/кг
Євроклас В	спалахування немає
Євроклас С	10-20 хвилин
Євроклас D	2-10 хвилин
Євроклас Е	0-2 хвилини
Євроклас F	не визначено
Граничні значення нових єврокласів базуються на результатах тестування за ISO 9705. На основі отриманих результатів тестові матеріали діляться на відповідні єврокласи. Розподіл на класи відбувається через проміжок часу до досягнення певної фази горіння, яка характеризується повним займанням поверхні матеріалу в замкненому приміщенні (Flash Over).	

Таблиця 26.6.

Будівельно-правові вимоги до вогнестійкості будівельних матеріалів

Вогнестійкість	Додаткові вимоги		Європейські класи згідно DIN EN 13501-1	
	Дим відсутній	Відсутнє осипання /стікання		
Незаймисті	X	X	A1	
	X	X	A2	-s1 dO
Важкозаймисті		X	B	-s1 dO
		X	C	-sldO
			A2	-s2dO
			A2	-s3 da
	X	X	B	-s2dO
	X	X	в	-s3dO
			с	-s2dO
			с	-s3dO
			A2	-s1 dl
			A2	-s1d2
	X		B	-s1 dl
	X		B	-s1 d2
			с	-sldl
			с	-s1 d2
			A2	-s3d2
			B	-s3d2

Таблиця 26.6. (Продовження)

Вогнестійкість	Додаткові вимоги		Європейські класи згідно DIN EN 13501-1	
	Дим відсутній	Відсутнє осипання /стікання		
			C	-s3d2
Нормальнозаймисті			0	-s1d0
		X	D	-s2d0
			D	-s3d0
			E	
			D	-s1d2
			D	-s2d2
			D	-s3d2
			E	d2
Легкозаймисті			F	

Джерело: Каталог будівельних розпоряджень А, частина I-а, Додаток 0.2.2, видання 2003/1.

Таблиця 26.7.

Єврокласи/підкласи побічних явищ займання

	Утворення диму		Горюче стікання / осипання
s1	відсутнє/малопомітне	do	стікання не спостерігається
s2	помірне	d1	помірне стікання
s3	сильне	d2	сильне стікання

Побічні явища займання є складовою частиною європейської класифікації DIN EN 13501-1

- **Вогнестійкість (Вогнетривкість).**

Вогнестійкість ізоляції з мінеральної і скловати визначається стандартом DIN EN 13501-1. Градація продукції регламентується «Єврокласами».

- **Інші характеристики.**

Окрім вищезгаданих, необхідно перевіряти також ортогональність (різниця діагоналей), площину поверхні, стійкість до деформації, а також граничну міцність на розрив паралельної поверхні виробу (зріз) за певних граничних умов.

Нижче наводяться деякі гранично допустимі відхилення параметрів виробів, що регламентуються, від номінальних значень.

У разі відсутності в стандарті DIN V 4108-10 вимог до характеристик продукції спеціального призначення її виробник, в установленому порядку зобов'язаний привести відповідні дані про

властивості такої продукції. Нижче наводяться визначення деяких властивостей подібних матеріалів

Таблиця 26.8.

Ступені пружності

Ступінь	Корисне навантаження на безшовне покриття, кПа	Вимога (мм)	Граничне значення (мм)
CP5	2,0	5	+2
CP4	3,0	4	+2
CP3	4,0	3	+2
CP2	5,0	2	+1

Відновлюваність (пружність).

Відновлюваність ізоляційних панелей при дії ударного шуму відповідає різниці величин dL і dB . Товщина dL визначається під навантаженням 250 Па. Товщина dB визначається через 120 секунд після припинення дії додаткового навантаження.

Визначальні ступені CP3, CP4 і CP5 (таблиця 26.8.) відповідають класу T, а ступінь — класу T граничних значень товщини.

Опір звуковому потоку з розрахунку на одиницю товщини визначає звукоізолюючу здатність матеріалу. Характеризується одиницею вимірювання (кПа·с/м).

Короткочасне і тривале (довготривале) водопоглинання.

Показник, що характеризує водостійкість матеріалів, які використовуються для оформлення фасадів, зовнішніх огороджуючих і облаштування стельових конструкцій. До водопоглинання таких матеріалів під впливом різних факторів висуваються жорсткі вимоги. Максимально допустимі межі водопоглинання характеризуються наступними показниками:

- короткострокове водопоглинання з частковим зануренням у воду

— до 1,0 кг/м².

- довгострокове водопоглинання з частковим зануренням у воду

— до 3,0 кг/м².

Звукопоглинання.

Показник характеризує здатність матеріалу «поглинати» шуми. Інтенсивність звукопоглинання визначається для підрахунку рівня реверберації звуку в приміщенні.

Інші характеристики.

З урахуванням необхідних експлуатаційних властивостей визначають, при необхідності, також величини: стійкість до різних деформацій, опір стисканню, межу міцності на розтягнення і розрив,

точкове навантаження, паропроникність (опір дифузії водяної пари) та ін.

Маркування продукції виконується на основі «Коду визначення (позначення)» відповідно до DIN EN 13162. Код визначення (таблиця 26.9.) містить необхідні дані про фізико-механічні властивості ізоляційного матеріалу.

Таблиця 26.9.

Код позначення

Код позначення згідно стандарту DIN EN 13162	
MW	Абревіатура від «Мінеральна вовна»
EN 13162	Номер цього європейського стандарту
Ti	Граничне значення товщини
DS (T+)	Стійкість до деформації при певній температурі
DS (TH)	Стійкість до деформації при певній температурі та умовах вологості
CS(10\Y)i	Напряга стиснення або опір друку
TRi	Гранична міцність на розрив горизонтально до поверхні
PL(5)i	Точкове навантаження
WS	Короткочасне водопоглинання
WL(P)	Довгострокове водопоглинання
MUi або Zi	Дифузія водяної пари
SDi	Динамічна жорсткість
CPi	Пружність
CC(i1/i2/ y)Qc	Повзучість
APi	Практичний ступінь звукопоглинання
AWi	Оцінений ступінь звукопоглинання
AFi	Опір потоку
При цьому «i» відповідає номер класу або ступеню, а «Qc» — нормальне напруження при стисканні, а «у» відповідає кількості років	

Виробник продукції зобов'язаний забезпечити наявність в кодї всієї необхідної інформації, представленої за зразком таблиці.

У випадку, якщо деякі властивості продукції певного призначення не регламентуються DIN V 4108-10, допускається приводити їх в «Кодї визначення».

Основні експлуатаційні характеристики мінеральних скловатних виробів (відповідно до положень європейських нормативів) і галузі застосування, що рекомендуються, наведені в таблиці 26.10.

Таблиця 26.10.

Основні експлуатаційні характеристики силікатоволокнистих виробів, рекомендованих для облаштування теплоізоляції будівель та комунікацій (згідно з вимогами європейської стандартизації)

Види виробів та рекомендована галузь використання	Експлуатаційні характеристики				
	Питома густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ_{20} , Вт/мК	Максимальне значення теплопровідності за DIN V 4108-10, λ , Вт/мК	Міцність на стискання за 10%-ої деформації кПа	Максимальна температура використання
Розсипчаста силікатоволокниста вата — для теплоізоляції горизонтальної конструкції за відсутності механічного навантаження на ізолюючий шар	40	< 0,039	0,042	—	200
Мати силікатоволокнисті					
Мати прошивні, неармовані					
■ для теплоізоляції горизонтальних конструкцій	80 30	< 0,035 < 0,035	0,036 0,036	—	750 200
■ для теплоізоляції повітродувки та трубопроводу	40	< 0,035	0,036	—	750
Мати армовані					
Мати ламельні					
■ для теплоізоляції поверхонь	35-40 40-50	< 0,038 < 0,039	0,040 0,042	— —	250 250
Плити силікатоволокнисті					
Плити м'які					
■ для теплоізоляції конструкцій за відсутності механічного навантаження	30-50	< 0,036	0,036	> 10	200
■ для теплоізоляції вентильованих фасадів і збірних залізобетонних плит	60-70	< 0,034	0,036	> 10	200
■ для теплоізоляції обладнаних фасадів із застосуванням штукатурки (типу «Серпорок»)	70-80	< 0,036	0,036	> 10	200

Таблиця 26.10. (Продовження)

Види виробів та рекомендована галузь використання	Експлуатаційні характеристики				
	Питома густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ_{20} , Вт/мК	Максимальне значення теплопровідності за DIN V 4108-10, λ , Вт/мК	Міцність на стискання за 10%-ої деформації кПа	Максимальна температура використання
Плити напівжорсткі					
■ для теплоізоляції суміжних дахів (за відсутності навантаження)	100-110	< 0,035	0,036	> 30	200
Плити жорсткі					
■ для теплоізоляції фасадів («вологим» способом) із захисною та оздоблювальною штукатуркою типу ССТ.	130-150	< 0,035	0,040	> 40	200
Плити підвищеної жорсткості					
■ для теплоізоляції фасадів («вологим способом») із захисною та оздоблювальною штукатуркою	170-200	< 0,035	0,040	> 50	200
■ для теплоізоляції суміжних дахів та бетонних підлог					
Плити тверді					
■ для теплоізоляції суміжних дахів та бетонних підлог	230-250	< 0,038	0,04	> 80	200
Плити ламельні					
■ для теплоізоляції плоских поверхонь, які працюють під навантаженням (суміжних дахів, бетонних підлог)	110-150	< 0,04	0,042	> 100	200
Трубчаста ізоляція (шкарлупи)					
■ для теплоізоляції трубопроводу	100	< 0,033	0,036	—	250
Звукоізоляційні плити					
Використовуються як звукоізоляційні накладки із опором потоку $J > 10$ кПа/м	—	< 0,034	0,035	—	100-150 (в залежності від сполучного)
■ на облицювальні панелі					
■ стелі					
■ системні стелі					

26.2.3. Основні положення побудови ізолюючих систем, що забезпечують надійність експлуатації будинків, які ізолюються

Вимоги до будови різних систем теплоізоляції і, перш за все, — фасадної теплоізоляції викладені у відповідних нормативних документах різного рівня, технологічних картах розробників систем. Однак комплексна система ізоляції будівель, споруд, конструкцій, комунікацій, яка включає в себе, як було вже зазначено вище, використання різних тепло- та звукоізоляційних виробів, підпорядковуються загальним вимогам.

Аналогічні вимоги висувають до будови звукоізоляційних систем.

При виконанні ізолюючого шару на вертикальних і похилих поверхнях (із проміжком для вентиляції) силікатоволокнисті плити ($\rho < 80 \text{ кг/м}^3$) повинні бути захищені від вітру. Для встановлення такого захисту використовують:

- силікатоволокнисті ізоляційні повітрязахисні плити;
- гіпсокартонні ізоляційні повітрязахисні плити (лише для вертикальних конструкцій);
- ізоляційна повітрязахисна плівка;
- інші паропроникні листові та плиткові матеріали відповідних параметрів.

Примітка. При виборі матеріалу для захисту від вітру слід керуватись діючими нормативами протипожежної безпеки.

У процесі встановлення складу системи тепло- та звукоізоляції, а також при її експлуатації ізолюючий шар повинен бути захищений від атмосферних впливів. Також особливу увагу треба приділяти розрахунку складових самої системи, наприклад, для фасадів — масою оздоблюваної декоративної плитки без розрахункового підтвердження необхідної міцності системи, навантаженої облицюванням).

Ізолюючі конструкції, які знаходяться в контакт з ґрунтом, мають бути захищені від ґрунтової вологи встановленням додаткової поверхневої гідроізоляції – горизонтальної та вертикальної.

Зовнішні стінові конструкції, які контактують із ґрунтом у будинках без підвальних приміщень, утеплюють на глибину не менше ніж 0,5 м від поверхні ґрунту, а в будинках з підвальними приміщеннями — на глибину не менше ніж 1,0 м.

При монтажі теплоізоляційної системи необхідно уникати появи «містків холоду» (пропуски ізоляції, негустини між кромками утеплювача, місцеві пошкодження ізоляції і т.п.). Аналогічні умови діють і при встановленні звукоізолюючих систем.

Розміри силікатоволокнистих м'яких виробів в системах каркасної ізоляції повинні на 2% перевищувати відстань між елементами каркасу.

В процесі встановлення системи ізолюючі вироби розрізають спеціальним ножом або пилою.

Підбір товщини ізолюючого шару (товщини виробу) здійснюється на основі відповідних нормативів, відповідно до вимог здійснення необхідного тепло-звукозахисту конструктивних елементів у конкретних кліматичних умовах.

Ізоляційні матеріали мають використовуватись виключно за призначенням і згідно з діючими нормативно-технічними документами як на матеріали, так і на виконувані роботи зі встановлення ізолюючої системи.

При муруванні стін із повітряними прошарками, розмір такого прошарку не повинен перевищувати за висотою 6,0 м (один поверх), а за товщиною — знаходитись в діапазоні 20...100 мм. Розташування повітряних прошарків в залежності від конструкції будівлі регламентується відповідними нормативами.

Вентильовані прошарки, встановлені у відповідних системах теплоізоляції, створюються для попередження накопичення вологи в ізолюючому матеріалі та його підсушки. Величина проміжку між прошарками — від 40 до 150 мм із оптимальним діапазоном — (60...100) мм. Вентильовані прошарки розташовуються між зовнішнім захисним оздоблювальним шаром і теплоізоляцією (див.схему).

Поверхня теплоізоляційного матеріалу, звернена до прошарку, повинна бути захищена повітрязахисним шаром. Зовнішнє захисне декоративне покриття повинно мати вентиляційні отвори для забезпечення руху повітря (вентиляції) з необхідною інтенсивністю.

Встановлення систем скріпленої теплоізоляції (ССТ) виконується згідно із діючою нормативно-технічною документацією фірм-розробників таких систем.

Проектування та виконання тепло- та звукозахисних будівель і споруд передбачає використання ізоляційних матеріалів, строк ефективної експлуатації яких у відповідній системі — не менше ніж 25 років, для змінних ущільнювачів — не менше ніж 15 років із забезпеченням ремонтпридатності елементів теплозахисту.

Системи тепло- і звукозахисту будівель і споруд повинні відповідати вимогам санітарної та пожежної безпеки.

§27. Основні принципи технічних рішень тепло- та звукоізоляції будівель і споруд

Оптимальне встановлення системи тепло- та звукоізоляції будівель і споруд у значній мірі сприяє рішенню задачі енергоресурсозбереження ЖКГ і забезпечення комфортабельних умов перебування у приміщеннях будівель і споруд різного призначення. Принципи встановлення такої системи визначають створення надійної перешкоди тепловим втратам усіх конструктивних елементів будівель і споруд, перш за все, фасадів, підвальних приміщень, дахів, усунення можливих «містків холоду», відповідно до умов забезпечення максимальної ефективності захисної системи, технологічності монтажу, довготривалості та ремонтпридатності, конкурентної переваги.

Як було продемонстровано вище, інтенсивність теплових втрат будівлі (а відповідно і енерговитрат на її обігрів зимою та кондиціювання — влітку) залежить від багатьох факторів: від величини поверхні теплообміну, матеріалу і конструкції огорожень (стін, стель, покрівлі), наявності підвалів, цокольної частини, мансарди, конструкції і матеріалів окремих елементів (вікон, дверей, виконання системи вентиляції), площі усіх цих компонентів, якості виконання елементів будівлі та споруди в цілому. Усі ці характеристики визначаються шляхом проведення спеціального енергетичного аудиту із заповненням за його результатами енергетичного паспорту об'єкту.

Основна задача теплоізоляції — регулювання теплових потоків між двома середовищами через розділяючу стіну (огорожуючу конструкцію).

Величина цих потоків визначається за розрахунками показників температур середовища ззовні та всередині приміщення, показників питомого термічного опору матеріалу, з якого створено огорожу (бетон, цегла, дерево і т.д.), а також, за умов комбінованої конструкції огорожі, показників сумарного термоопору, підрахованим за відомими рівняннями теплопередачі або окремими будівельними нормативами.

Звичайно, інтенсивність теплових потоків буде нижчою, а тепловіддача більш інерційною там, де, за інших рівних умов, сумарна теплопровідність матеріалу огороження буде мати меншу величину (див.вище). Цей коефіцієнт встановлює термоопір роздільної конструкції і характеризується кількістю тепла, яке проходить крізь матеріал конструкції за одиницю часу.

Показники (порівняльні) питомої теплопровідності деяких будівельних матеріалів наведені в таблиці 27.1.

Характеристика теплопровідності деяких будівельних матеріалів

Матеріали	Густина у сухому стані (вологість до 5%), кг/м ³	Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, λ, Вт/м·К
Залізобетон	2500	1,9-2,0
Бетон на щебені з природного каменю	2500	1,5-1,9
Керамзитобетон	1200-1800	0,46-0,9
Пінобетон	400-800	0,14-0,3
Перлітобетон	400-1000	0,15-0,35
Плити гіпсові	900-1100	0,28-0,4
Деревина (сосна, ялина): вздовж волокон поперек волокон	550	0,16-0,18 0,32-0,36
Автоклавний газобетон	400-500	0,09-0,11
Цегла керамічна рядова	1800	0,81-0,92
Цегла пориста	1350-1400	0,52-0,58
Цегла силікатна	1700-1900	0,85-0,9
Плити пінополістирольні ПСБ-С	25-40	0,04-0,05
Плити EPS	13-25	0,032-0,046
Плити EPS графітонаповнені*** (розшифровувати)	15-28	0,028-0,032
Плити XPS	25-45	0,029-0,034
Плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому	150-200	0,05-0,07

Відповідно до вимог стандарту EN 13163 коефіцієнт теплопровідності вказується з точністю до третього знаку після коми з округленням у більшу сторону

Рис. 27.1. підтверджує ці положення. Наприклад, величина опору теплопередачі неутепленої стіни із силікатної цегли складає 0,61 м²·К/Вт. Та сама стіна, утеплена пінополістирольною плитою EPS 100 товщиною 100 мм, характеризується опором теплопередачі не менше ніж 3,12 В/м²·К (тобто збільшується більше, ніж у 5 разів). Відповідно, скорочуються і тепловтрати через роздільну конструкцію. Оскільки максимальні тепловтрати мають місце через зовнішні роздільні системи, перш за все, фасади будівлі, значна частина ресурсозбереження визначається, у першу чергу, ефективністю побудови системи теплозахисту фасадів, тобто правильним вибором типу системи і якістю її практичного виконання.

Доцільно звернути увагу на залежність теплопровідності плити EPS від її товщини (рис. 27.2), що необхідно враховувати при визначенні термоопору огорожувальної конструкції і підборі елементів фасадної системи.

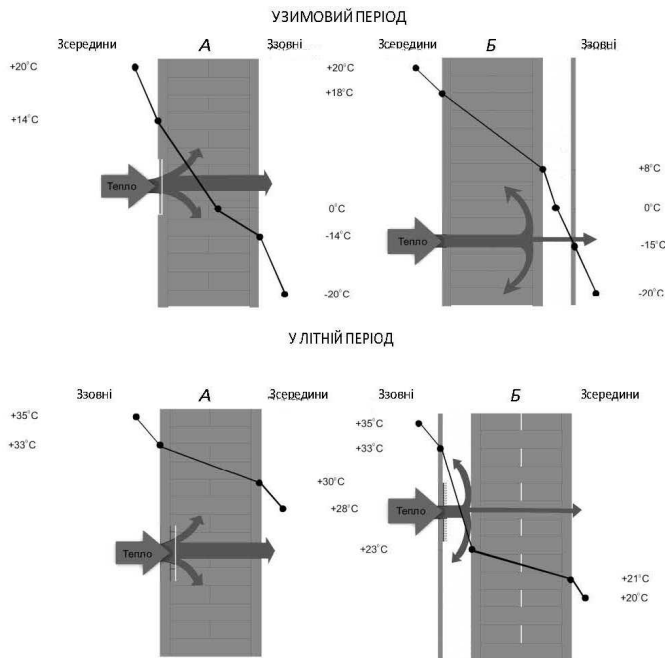


Рис. 27.1. Схема розподілу теплових потоків у стінах різної будови:
 А) Теплоізоляція відсутня Б) Із теплоізоляцією

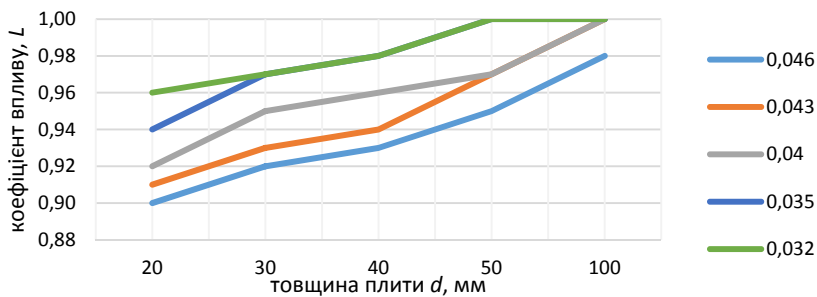


Рис. 27.2. Вплив товщини плити на її теплопровідність λ_D

§28. Основні типи систем утеплювання фасадів

Нижче розглянуті переваги запропонованого методу теплоізоляції на прикладі опалення будівлі в зимових умовах.

У першому випадку (рис. 28.1.), так званої внутрішньої теплоізоляції, яка інколи застосовується вимушено, система утеплення розташована на внутрішній поверхні роздільної конструкції (стіни). У такому варіанті знижується здатність стіни до акумуляції (накопичення) тепла. Оскільки при цьому неможливо ізолювати стик внутрішніх стін і елементів перекриття із зовнішніми, у місцях стику утворюються термічні містки («містки холоду») — місця, крізь які тепло виходить практично без перешкод.

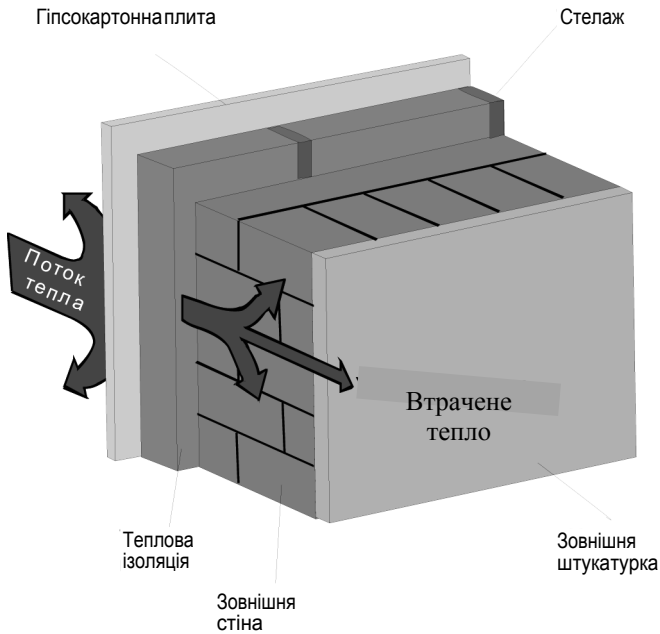


Рис. 28.1. Розподіл теплових потоків під час внутрішньої теплоізоляції приміщення

Надалі такий розподіл ізоляції без ретельно змонтованого паровологісного бар'єру може викликати постійну вологість матеріалів огороження стіни (залізобетон, цегла і т.п.) та утеплювача і, як результат додаткове зниження ефекту теплоізоляції із відповідними неприємними наслідками: появою плісняви, грибка, руйнуванням штукатурки.

Даний спосіб утеплення можливо застосовувати лише у випадках, коли обов'язковим є збереження первинного вигляду фасаду, наприклад, пам'ятників архітектури. При цьому слід старанно перевірити тепловологісні показники стінової конструкції запропонованого матеріалу-утеплювача і проаналізувати усі можливі негативні наслідки прийнятого способу утеплення. Однак потрібно змиритись із тим, що у випадку застосування системи внутрішньої ізоляції, корисна площа приміщення відповідно скорочується.

Другий метод (рис. 28.2.) полягає в оштукатурюванні зовнішньої поверхні стіни спеціальною термоізоляційною («теплою») штукатуркою на основі пористих сипучих заповнювачів (перліт та ін.).

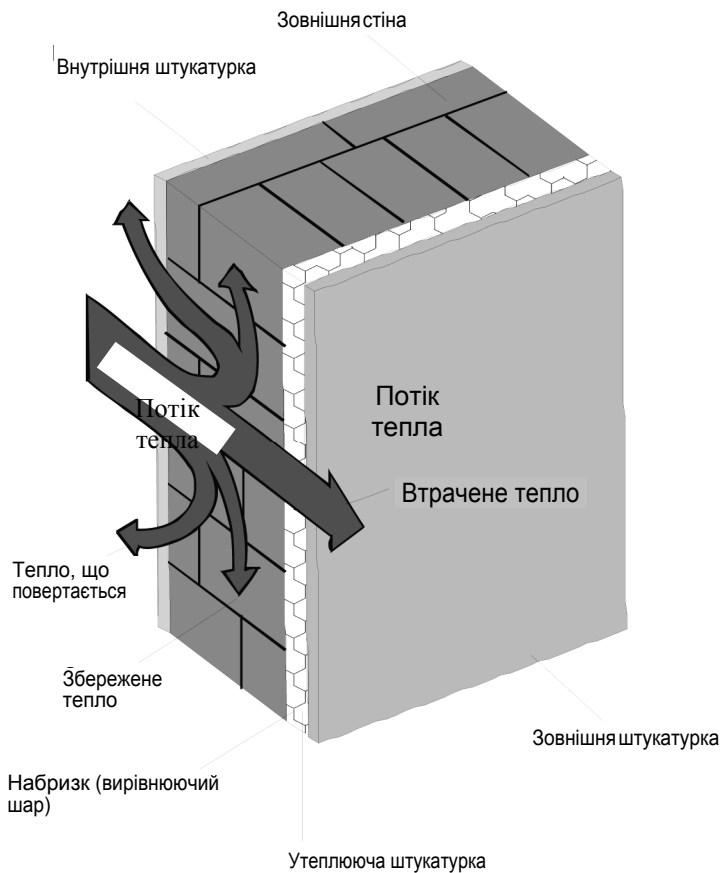


Рис. 28.2. Схема теплових потоків при оздобленні фасаду теплоізолюючою штукатуркою

Оскільки товщину такого штукатурного шару не можна збільшувати довільно, ізоляційний ефект штукатурки виходить нижчим, ніж у випадку застосування типового ізоляційного матеріалу. Таким чином, і втрата тепла крізь стіни залишається достатньо високою.

Різновидом подібного варіанту можна вважати будову зовнішньої кладки будинку із блоків, виготовлених із (або із додаванням) матеріалів пониженої теплопровідності (піно-, газобетон, перлітобетон, сіопор та ін.). Будівництво будинків подібної конструкції ще потребує старанного порівняльного конструктивного та економічного опрацювання, а також оцінки з точки зору взаємозалежності міцнісних і теплофізичних характеристик матеріалів, які застосовуються для облицювання.

Третій метод (рис. 28.3.) — вентильованих фасадів із використанням теплоізоляційних і навісних оздоблювальних плит (панелей) — значно змінює та покращує зовнішній вигляд фасаду будівель. В даному випадку ізоляційний шар вкладається між вертикальними і горизонтальними рейками — профілями, прикріпленими до зовнішньої стіни будівлі.

У свою чергу до них кріпляться захисні декоративні плити або панелі, які захищають ізоляцію від атмосферних опадів, і декорують фасади. Метод трудомісткий і коштує дорого, до того ж він потребує застосування спеціально виготовлених захисних декоративних плит (панелей), які вітчизняна промисловість ще не випускає.

Четвертий метод. Фасадна теплоізоляційна система «Серпорок» (рис. 28.3.), близька за своєю конструкцією до запропонованого методу утеплення. Являє собою систему, яка складається із штукатурних сумішей, елементів кріплення спеціальної конструкції, сталеві зварювальної гарячооцинкованої сітки і мінеральної теплоізоляції.

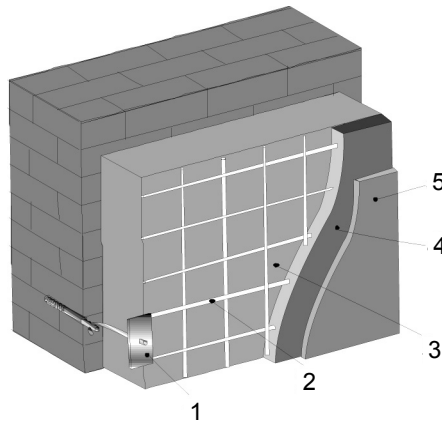


Рис. 28.3. Фасадна теплоізоляційна система «Серпорок»

Її переваги — у можливості застосування м'яких (до 100 кг/м³) мінеральних плит, як і в попередньому варіанті. Недолік — відносна складність монтажу системи, застосування спеціальних комплектуючих матеріалів фірми «Optiros» (Фінляндія), які відносяться лише до цієї схеми, а також відносно велика ціна встановлення подібної системи, пов'язана із зарубіжною поставкою комплектуючих. У порівнянні із розглянутими вище варіантами систем утеплювання переваги системи скріпленої теплоізоляції будівлі — ССТ (рис. 28.4.) є очевидними: простота, ефективність, універсальність та доступність елементів застосованих у конструкції системи, різноманітність варіантів оформлення, техніко-економічна привабливість, надійність і стабільність в експлуатації, непорушність «квадратури» внутрішніх приміщень.

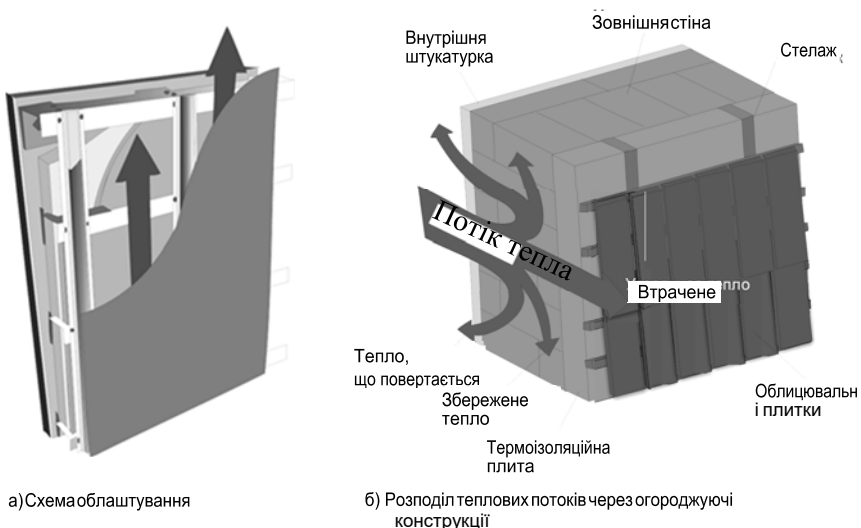


Рис. 28.4. Система теплоізоляції з облаштуванням вентильованих фасадів

У будівельній практиці утеплювання фасадів зустрічається також варіант утеплення зовнішніх стін, який являє собою, тришарову цегляну (залізобетонну) стіну із повітряним прошарком (рис. 28.5.) або без нього.

При цьому у випадку використання утеплювачів із м'яких мінераловатних (скловатних) плит або плит з пінопласту низької густини, нездатних витримати навантаження від власної маси, повинні використовуватись відповідні конструкції для опору та кріплення, які розвантажують утеплювач і перешкоджають його деформації.

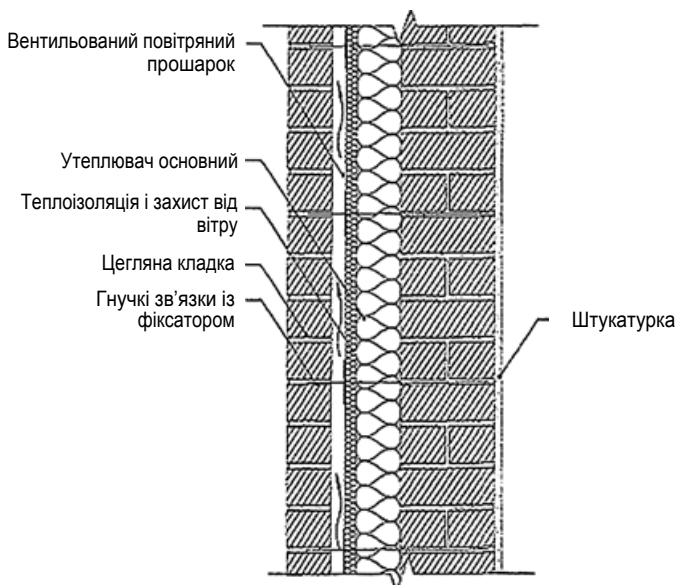


Рис. 28.5. Схема тришарової (утепленої) цегляної і стіни з повітряним (вентильованим) прошарком

Зв'язок між навантаженими і не навантаженими шарами (частинами) стіни забезпечується гнучкими зв'язками різних типів, які передбачені проектними рішеннями.

При побудові стіни із проміжком для вентиляції, у проміжку потрібно забезпечити відповідну циркуляцію повітря. Рекомендована мінімальна ширина вентиляційного проміжку — не менша ніж 40 мм. Для будівель висотою більше двох поверхів величина вентиляційного проміжку визначається розрахунком. Використання таких систем виявило проблемність забезпечення їх надійної і безпечної експлуатації, в зв'язку з чим в останній редакції національного нормативного акта по проектуванню фасадних систем ця система вилучена.

§29. Основні елементи будови комплексних систем тепло- і звукоізоляції будинків. Матеріали, основні експлуатаційні властивості

Для позначення комплексних систем зовнішньої теплоізоляції будинків у Німеччині й Австрії використовується зазвичай аббревіатура WDVS (Warmedamm-Verbudsysteme), а в Європейському Союзі уведене коротке позначення ETICS (External Thermal insulation composite systems).

Комплексні системи зовнішньої теплоізоляції будинків застосовуються для утеплення зовнішніх стін нових або вже існуючих

будинків, горизонтальних і похилих огороджуючих конструкцій (перекриттів, даху). Визначення «зовнішня» відноситься до поверхні конструкції з більш низькою температурою в зимовий період.

Матеріали комплексної системи зовнішньої теплоізоляції в цілому є єдиним виробом, що поставляється у вигляді комплексу заздалегідь виготовлених однозначно ідентифікованих елементів для цільового застосування безпосередньо на будівельному майданчику. Прикріплення системи до огороджуючої конструкції здійснюється, залежно від типу системи, приклеюванням і/або за допомогою виробів (конструкцій) для механічного кріплення. Теплоізоляційний матеріал в системі безпосередньо пов'язаний з поверхнею несучої огороджуючої конструкції без повітряних щілин.

Найпоширенішими у вітчизняній практиці типами утеплення фасадів є три системи:

- А – система скріпленої теплоізоляції (ССТ);
- Б – система з вентиляльованими фасадами;
- В – система зі світлопрозорим опоряджувальним шаром.

Для практичного застосування в кожному конкретному випадку вибирають найбільш оптимальну систему теплоізоляції залежно від типу й стану основи, умов експлуатації будинку, вартості виконання робіт і побажань замовника.

При визначенні можливості використання теплоізоляційного матеріалу при утепленні будівлі необхідно враховувати чинні нормативні обмеження по висоті будівель і групі горючості теплоізоляції, наведені в табл. 29.1.

Таблиця 29.1

Застосування конструкцій із фасадною теплоізоляцією в залежності від їх конструктивного типу, висоти будівель та горючості матеріалів теплоізоляційного шару

Конструктивна схема	Умовна висота будівель H , м	Група горючості теплоізоляційного матеріалу		
		НГ	Г1	Г2
А	$H < 9$	+	+	+
	$9 < H < 26,5$	+	+	+
	$26,5 < H < 47$	+	-	-
	$H > 47$	+	-	-
Б	$H < 9$	+	+	+
	$9 < H < 26,5$	+	-	-
	$26,5 < H < 47$	+	-	-
	$H > 47$	+	-	-
В	$H < 9$	+	+	+
	$9 < H < 26,5$	+	+	-
	$26,5 < H < 47$	+	-	-
	$H > 47$	+	-	-

Придатність теплоізоляційного матеріалу необхідно оцінювати з урахуванням його відповідності експлуатаційній придатності комплексу ізоляції будівлі за показниками, наведеними в табл. 29.2.

Таблиця 29.2

Основні фізико-механічні показники комплектів ізоляції

Фізико-механічні показники	Конструктивна схема		
	А	Б	В
1 Приведений опір теплопередачі	+	+	+
2 Міцність зчеплення теплоізоляційного шару із захисно-опоряджувальним шаром	+	-	-
3 Теплоізоляційний шар:			
- строк ефективної експлуатації;	+	+	+
- клас енергетичної ефективності;	+	+	+
- теплопровідність;	+	+	+
- міцність на осьовий розтяг;	+	+	+
- міцність на стиск при 10 % -вій лінійній деформації;	+	+	+
- товщина.	+	+	+
4 Допустиме зниження опору теплопередачі системи після випробувань надійності теплової ізоляції конструкції	+	+	+
5 Коефіцієнт паропроникності теплоізоляційного та повітрязахисного шарів	+	+	-
6 Опір повітропроникності шару (шарів) теплоізоляції та повітроізоляції	-	+	+
7 Групи горючості матеріалів теплоізоляційного шару	+	+	+

29.1. Система скріпленої теплоізоляції А (ССТ)

Комплексна система скріпленої теплоізоляції (у варіанті зовнішнього улаштування) поставляється виробником у вигляді комплексу матеріалів, що включає наступні елементи (рис. 29.1.):

- системний клейовий склад і системні вироби для механічного кріплення;
- системні теплоізоляційні плити низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2;
- системні опоряджувальні матеріали відповідної групи горючості.

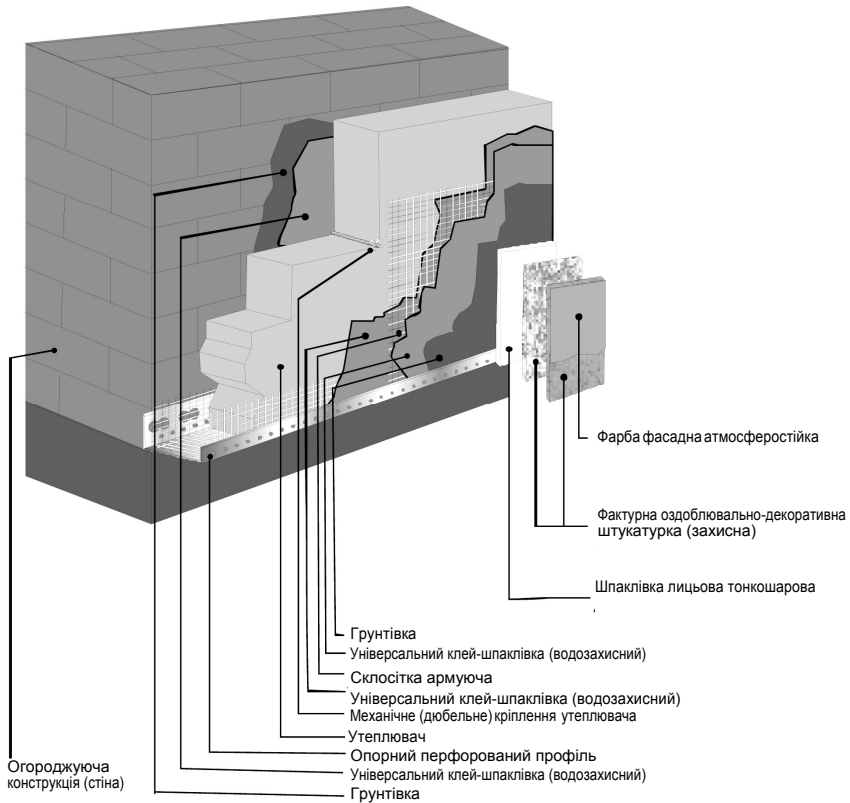


Рис. 29.1. Принципова схема улаштування ССТ

Пінополістирол EPS.

Одним з найбільш доступних і ефективних теплоізоляційних матеріалів є спінений пінополістирол EPS.

У системах теплоізоляції не допускається (ДБН В.1.7-7:2016) використання EPS, що не володіє самозатухаючими властивостями (ступінь горючості системи Г-1), за виключенням будинків з умовною висотою не більше ніж 26,5 м (у внутрішніх шарах системи зовнішнього облицювання стін таких будинків допускається використовувати матеріали груп горючості Г1, Г2). Густина пінополістиролу, що використовується в ССТ,

$$\rho \geq 13-25 \text{ кг/м}^3$$

Пінополістирол характеризується значно меншим водопоглинанням, ніж мінераловатні плити. Однак при використанні його для теплоізоляції конструкцій, що перебувають в умовах зволоження (вологий ґрунт, опади й т.ін.), доцільно застосовувати плити з підвищеною водостійкістю й відповідним гідрозахистом, тому для

заміни у деяких випадках застосовують екструдований пінополістирол XPS. Слід також підкреслити, що теплопровідність продукції EPS не змінюється з часом, стабільності сприяє відсутність в структурі інших газів, крім атмосферного повітря.

При використанні EPS необхідно виключити вплив на нього органічних розчинників (включаючи дифузію парів), що входять до складу лакофарбових покриттів, мастик і деяких видів гідроізоляційних розчинів. EPS необхідно захищати від прямого впливу ультрафіолетового випромінювання. Сучасні EPS здатні протягом тривалого часу опиратись температурам до 90 °С, що в більшості випадків цілком достатньо. При будові ССТ для будинків підвищеної поверховості при використанні EPS виконуються протипожежні «пояси безпеки» висотою $H=2S$ (де S — товщина ізолюючого шару), у встановленій нормативами послідовності.

Фасадні плити зі спіненого полістиролу EPS-F, як складова частина системи теплоізоляції, повинні відповідати вимогам таблиці 29.1.

Таблиця 29.1.1.

Вимоги до плит EPS-F для зовнішніх систем теплоізоляції (за EN13163)

Характеристика	Можливі відхилення
Довжина — відхилення від номінальної величини	макс. 1,0 м; ± 3 мм ($\pm 0,6\%$)
Ширина — відхилення від номінальної величини	макс. 0,5 м; ± 3 мм ($\pm 0,6\%$)
Товщина (зусилля стисканню 250 Па) — відхилення від номінальної величини	мін. 20 мм ± 2 мм
Відхилення від прямокутності	± 2 мм/1000 мм
Відхилення площинності	мін. 5 мм (макс. 30 мм)
Густина	Не нормується
Стабільність розмірів у певних температурних й вологісних умовах (23 ± 2 °С при відносній вологості $90\pm 5\%$, час витримки 48 годин)	$\pm 1\%$
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{к,10}$	макс. 0,044 Вт/(м·К.)

Для систем скріпленої теплоізоляції також використовують мінераловатні плити підвищеної жорсткості. Як правило, у цьому випадку поставляються спеціальні фасадні плити, густина яких перебуває в діапазоні (150...200) кг/м³. Крім мінераловатних плит з поздовжньою орієнтацією волокна, для улаштування системи використовують також плити з поперечно орієнтованими волокнами, що мають більш високий опір стискаючим навантаженням й менший ступінь розшарування. Їх легше монтувати на криволінійних ділянках фасадів.

Плити типу MW-F мають теплоізолюючі властивості, близькі до параметрів утеплювача з пінополістиролу. Гарні пожежно-технічні й акустичні властивості урівноважують їхню високу вартість. Такі плити можна використовувати для утеплення будинків з підвищеними

пожежно-технічними вимогами, а також для виконання протипожежних «поясів безпеки» при утепленні будинків плитами з пінополістиролу.

Теплоізоляційні системи з утеплювачем із плит типу MW-F ефективні в умовах надійного захисту теплоізоляції від зволоження. Під час транспортування, зберігання й при виконанні робіт повинна бути виключена можливість їхнього зволоження. Ризики зволоження мінераловатних плит і відповідного зменшення експлуатаційних характеристик зростають в разі можливих впливів актів вандалізму, що створює пріоритет пінополістирольних систем.

Фасадні плити типу MW-F, як складові елементи системи теплоізоляції повинні відповідати вимогам таблиці 29.2.

Таблиця 29.1.2.

Вимоги до плит MW-F для зовнішніх систем теплоізоляції

Характеристика	Можливі відхилення
Довжина — відхилення від номінальної величини	макс. 1,2 м; $\pm 2\%$
Ширина — відхилення від номінальної величини	макс. 0,625 м $\pm 1,5\%$
Товщина (зусилля стиску 50 Па при міцності на стиск менше 15 кПа або зусилля стиску 250 Па) — відхилення від номінальної величини	мін. 20 мм + 3/-1 мм
Відхилення від прямокутності — плити з поздовжньою орієнтацією волокон плити з поперечною орієнтацією волокон	макс. 5 мм/м макс. 5 (2) мм/м
Відхилення площинності	макс. 6 (5) мм (макс. ± 3 мм)
Густина	150-200 кг/м ³
Стабільність розмірів у певних температурних й вологісних умовах (70 \pm 2 °С при відносній вологості 90+5%, час витримки 48 годин)	$\pm 1,0\%$
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{к,10}$	макс. 0,044Вт/мК
Міцність на розтягування в перпендикулярному напрямку до площини плити:	
■ плити, прикріплені приклеюванням	мін. 80 (75) кПа
■ плити, прикріплені монтажними рейками (і приклеюванням)	мін. 15 кПа
■ плити, прикріплені дюбелями (і приклеюванням)	хв. 7,5 кПа
■ плити, прикріплені дюбелями крізь армування	мін. 5 (7,5) кПа
Міцність на стискання	мін. 10 кПа
Довгострокова здатність водопоглинання при частковому зануренні (метод 1 А; 28 діб)	макс. 3 кг/м ²
Міцність на розтягнення в перпендикулярному напрямку до площини плити (зразки 50x50 мм)	
■ при кріпленні приклеюванням або дюбелями	мін.100 кПа
■ при кріпленні монтажними рейками	хв. 150 кПа
Довгострокова здатність водопоглинання при частковому зануренні (метод 1А; 28 діб)	макс. 0,5 кг/м ²

Системне армоване покриття, що складається з одного або декількох шарів, один із яких армується лугостійкою сіткою зі скловолкна (або інших волокон); системна ґрунтовка; системний декоративний облицювальний шар.

Всі складові елементи ССТ будівельник може отримувати від різних виробників, але в цьому випадку він повинен забезпечити їхню взаємну сумісність у комплексі.

Крім зазначених основних елементів, системи комплектуються різними допоміжними профілями з легких металів, що не піддаються корозії, або пластика, часто в комбінації з армувальною сіткою. Вони призначені для обмеження й завершення системи теплоізоляції. Наприклад, цокольний профіль, кутовий, кутовий з крапельником, профілі примикання системи до віконних і дверних блоків.

Для герметизації стиків і улаштування температурних швів застосовують ущільнюючі стрічки, що саморозширюються, герметики, компенсаційні шнури.

У цьому випадку система теплоізоляції, як єдине ціле, є еквівалентом будівельного виробу згідно вже згадуваній європейській Директиві для будівельних матеріалів (Звід законів № 22/1997). Матеріали, що входять до комплексу системи повинні зберігати протягом усього гарантованого терміну експлуатації нормовані механічні характеристики, фізико-хімічні властивості, температурні й вологісні показники, а також експлуатаційну стабільність системи в комплексі.

29.1.1. Підготовчі роботи

Підготовчі роботи при будівництві системи повинні відповідати переліку вимог, обов'язкових при улаштуванні системи і діючим нормативам (ДБН В.2.6-33:2016 Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації)

29.1.2. Утеплювач

Основним елементом системи є теплоізоляційні матеріали, що поставляються у вигляді фасадних теплоізолюючих плит. Виробник показує необхідні параметри плит, виходячи з їхнього призначення.

Утеплювачем для ССТ служать високоефективні теплоізоляційні матеріали з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda < 0,05$ Вт/мК.

Зазвичай використовують плити з мінеральних волокон типу MW-F або MW-FL (з поперечним напрямком волокон, т.зв. «ламельні»), плити з фасадного пінополістиролу типу EPS.

У наших кліматичних умовах мінімальна товщина плит визначається обов'язковими вимогами галузевих нормативних актів і становить біля

100 мм. Однак з урахуванням сталого зростання цін на енергоносії, вимоги до товщини можуть також зрости до 150...200 мм.

Застосування теплоізоляції зі збільшеною у вищевказаному діапазоні товщиною є інвестицією, окупність якої повинна оцінюватись при проектуванні термосанації будівлі відповідно до чинних нормативних вимог. У всіх випадках доцільно орієнтуватись на європейський підхід щодо доцільності проведення утеплення в разі, коли це технічно можливо і економічно доцільно.

§30. Основні конструктивні вузли й матеріали теплозвукоізоляції будинків

Ефективність енергозбереження в житлово-комунальному господарстві значною мірою визначена як вибором оптимальної схеми утеплення фасадів, так і якістю ізоляції ущільнення елементів будинку: дахів, підвалів, віконних і дверних прорізів, нейтралізацією «містків холоду» і т.д.

Із цієї точки зору вибір відповідних схем і матеріалів досить суттєвий для загальної ефективності ізоляційної системи. Інтеграція України до ЄС потребує поступового запровадження в нормативно-законодавче поле Директив Європейського Парламенту та Ради, які постійно підвищують вимоги до технічної і економічної ефективності заходів з енергозбереження. Сучасні підходи щодо забезпечення енергетичної ефективності будівель вже реалізовані в національній нормативній базі при визначенні методів вибору теплоізоляційного матеріалу (ДСТУ Б В.2.6-189), його теплостійкості (ДСТУ Б В.2.6-100), тепловологічного стану (ДСТУ-Н Б В.2.6-192) і опору теплопередачі (ДСТУ Б В.2.6-101), формуванні конструкцій зовнішніх стін з різними системами теплоізоляції і опорядження (ДСТУ Б В.2.6-34, ДСТУ Б В.2.6-35, ДСТУ Б В.2.6-36). Підготовлена до надання чинності сучасна серія підтримуючих євростандартів для забезпечення подальшого вдосконалення оцінки параметрів систем утеплення і їх елементів.

30.1. Загальні вимоги до конструктивних рішень щодо теплозвукоізоляції й тепло- і звукоізоляційних матеріалів

Оскільки найбільш уразливими в експлуатаційному відношенні є зовнішні елементи системи теплоізоляції та, насамперед, її фасадна складова, то головні вимоги до експлуатаційних властивостей теплоізоляційної системи (вибору конструкції та матеріалів) повинні ставитися саме до цієї, основної, складової системи теплозвукоізоляції.

Конструкція теплозахисту зовнішніх стін, поряд з обов'язковою вимогою забезпечення необхідного термоопору, повинна бути

довговічною й надійною. Довговічність визначається терміном стабільної експлуатації. Для її досягнення необхідно, щоб теплозахисна система була стійкою до тривалого впливу зовнішніх і внутрішніх факторів: атмосферостійкою, хімічностійкою (проти хімічного впливу навколишнього середовища) і біостійкою (не повинна руйнуватися під дією біологічного впливу).

Для досягнення технологічної та експлуатаційної оптимальності конструкція теплозахисту (та її елементи) повинна бути індустріальною (мати високий рівень заводської готовності); транспортабельною (можливість перевозити будь-яким видом транспорту без його переустаткування, зручною для механізованих розвантажувальних робіт, компактною при складуванні); простою в монтажі; забезпечувати максимальну механізацію трудових операцій; ремонтпридатність.

У будівельній практиці застосовують різноманітні, розглянуті вище теплоізоляційні матеріали, що відповідають зазначеним вимогам, у чистому вигляді або як елемент системи. Легкі бетони (керамзитобетон, перлітобетон, шлакобетон, газо- і пінобетон і т.д.), «теплі» розчини (цементно-перлітовий, гіпсо-перлітовий, поризований та ін.); вироби з деревини та інших органічних матеріалів (плити деревиноволокнисті, деревино-стружкові, фібролітові, комишитові й т.д.), або піноскло, силікатоволокнисті (мінераловатні та скловолокнисті) матеріали та вироби (мати, плити різної щільності); полімерні матеріали — пінопласти (пінополістирол, пінополіуретан, перлітопластобетон та ін.) і вироби з них.

В сьогоденній будівельній практиці найбільш ефективними при улаштуванні систем теплоізоляції є вироби з мінеральної вати й скловолокна, а також полімерні матеріали (пінополістирол, пінополіуретан) різного способу виробництва.

Останнім часом на вітчизняному будівельному ринку з'явилися високоякісні теплоізоляційні матеріали, що відповідають вимогам європейських нормативів. Наприклад, фірма KNAUF (Німеччина, профільні виробництва в Україні) пропонує широкий вибір скловолокнистих теплоізоляційних матеріалів і виробів з пінопласту KNAUF INSULATION, концерни "ISOVER" — широкий вибір скловатних і мінераловатних плит, фірми "ROCKWOOL" і "PAROC" — мінераловатні вироби, концерн BASF — вироби з пінополістиролу різного ступеня щільності й, відповідно, широкої області застосування.

Компанія «Кнауф Інсулейшн» – підрозділ міжнародної промислової групи KNAUF – спеціалізується на випуску сучасних теплоізоляційних матеріалів, що включають мінеральну вату на основі скловолокна та на основі базальту, екструзійний полістирол та пінополістирол, а також деревоволокнисті плити. Спектр

продукції, що випускає «Кнауф Інсулейшн», дозволяє знаходити рішення для широкого кола застосувань в області тепло- і звукоізоляції будівельних конструкцій. Матеріали під маркою Knauf Insulation мають всі необхідні європейські та українські сертифікати і відповідають найвищим вимогам, що висуваються до теплоізоляції: низька теплопровідність, висока паропроникність, гарантія стабільності всіх характеристик протягом життєвого циклу конструкції. З 2010 року виробництво мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна здійснюється виключно з використанням новітньої технології ECOSE® Technology, яка була винайдена фахівцями «Кнауф Інсулейшн» після п'ятирічних досліджень. Технологія ECOSE® Technology, що базується на застосуванні природних компонентів без використання фенолформальдегідних та акрилових смол, – це більш дружня для природи та людини технологія виробництва мінераловатної теплоізоляції. Мінераловатна теплоізоляція з ECOSE® Technology не схожа на традиційну теплоізоляцію: вона не містить барвників і відбілювачів та має натуральний колір. Компанія «Кнауф Інсулейшн» встановлює для себе дуже жорсткі нормативи екологічних показників продукції, тому нова лінійка матеріалів вироблених з використанням ECOSE® Technology відповідає підвищеним екологічним вимогам.

Компанія пропонує матеріали для проектування та принципові конструктивні рішення огорожувальних конструкцій зовнішніх стін та внутрішніх перегородок, похилої покрівлі та горищних перекриттів, підлог та міжповерхових перекриттів опалюваних будинків різного призначення з використанням тепло- та звукоізоляційних виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation.

В залежності від фізико-технічних властивостей виробу зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation використовуються в якості тепло- та звукоізоляції:

- плити та мати «Акустична перегородка» та «AkustiKnauf» – у внутрішніх перегородках та підвісних стелях, в якості звукоізоляції;

- мати «ТЕПЛОрулон 041» – у ненавантажуваних конструкціях (підлоги по лагах, дерев'яні перекриття по балках, похила покрівля, підвісна стеля, конструкції каркасного типу);

- мати «ТЕПЛОрулон 040» – у ненавантажуваних конструкціях (підлоги по лагах, дерев'яні перекриття по балках, похила покрівля, підвісна стеля, конструкції каркасного типу);

- плити «ТЕПЛОплита 037» – у ненавантажуваних конструкціях (підлоги по лагах, дерев'яні перекриття по балках, похила покрівля, підвісна стеля, конструкції каркасного типу), в легких металевих каркасних конструкціях, в тому числі з використанням термопрофілів та елементів полистового складання с додатковим вітрозахисним шаром;

Номенклатура виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation та їх основні фізико-технічні характеристики наведені в таблиці 30.1.1.

Таблиця 30.1.1.

Фізико-технічні характеристики виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation

Марка виробу	Густина, кг/м ³	Стисливість під навантаженням 2000 Па, % не більше	Водопоглинання при частковому зануренні за 24 години, кг/м ³ , не більше	Границя міцності при розтягуванні плит кПа не менше	Вміст органічних речовин % не більше	Теплопровідність, Вт/(м·К), при 10 °С
ТЕПЛОрулон 041	10 ± 5%	70	-	4,0	6,0	0,041
ТЕПЛОрулон 040	11 ± 5%	70	-	4,2	6,0	0,039
ТЕПЛОплита 037	15 ± 5%	60	1,0	5,2	6,0	0,036
Акустична перегородка	15 ± 5%	60		4,6	6,0	-
АкустіKnauf	15 ± 5%	60		4,6	6,0	-

Усі вироби зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation відносяться до групи горючості НГ згідно з ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94) (за пожежно-технічною класифікацією ДБН В.1.1-7-2016 – негорючі матеріали).

Розрахункові теплофізичні характеристики виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation визначені на підставі випробувань, проведених відділом будівельної теплофізики та ресурсозбереження ДП НДІБК, наведені в Таблиці 30.1.2.

Таблиця 30.1.2.

Марка	Характеристика в сухому стані			Розрахунковий вміст води за масою в умовах експлуатації, %		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації			
	Густина кг/м ³	Питома теплоємність кДж/(кг·К)	Тепло-провідність Вт/(м·К)	Теплопровідність Вт/(м·К)		Коефіцієнт теплозасвоєння Вт/(м ² ·К)			
				А	Б	А	Б		
ТЕПЛОрулон 040	11	0,84	0,040	2,0	4,0	0,052	0,055	0,20	0,20
ТЕПЛОплита 037	14,5	0,84	0,037	2,0	4,0	0,048	0,050	0,22	0,22

Термін ефективної експлуатації усіх представлених виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation складає не менше 25 років.

30.2. Конструктивні рішення зовнішніх стін та перегородок

При новому будівництві зовнішні стіни можуть бути несучими або самонесучими і є багатошаровими конструкціями, що складаються з несучої частини стіни та конструкції фасадної теплоізоляції. Несуча стіна може бути з керамічної або силікатної цегли, бетонних блоків, або монолітного залізобетону.

Конструкції фасадної теплоізоляції розміщуються на зовнішній поверхні стіни та включають такі вироби та компоненти, як шар теплової ізоляції, опоряджувальний шар, засоби їх кріплення на несучій частині. Монтаж конструкцій фасадної теплоізоляції здійснюють після завершення зведення та перевірки якості несучої частини зовнішніх стін на всьому об'єкті, де монтується фасадна теплоізоляція. Зовнішня поверхня несучої частини стіни повинна відповідати вимогам щодо площинності згідно з технічними умовами на систему теплоізоляції залежно від її конструктивного рішення.

До монтажу конструкцій фасадної теплоізоляції на будинках, що підлягають реконструкції, повинно бути здійснене очищення фасаду від незв'язаних з основою стіни елементів – штукатурки, фарби тощо. На фасаді потрібно демонтувати спеціальні пристрої – водостоки, кронштейни, антени, труби тощо – відповідно до проектної документації на виконання ізоляційно-опоряджувальних робіт. Монтажні роботи з улаштування конструкцій фасадної теплоізоляції здійснюють згідно з проектом та відповідно до вимог ДБН В.2.6-33:2018, ДБН А.3.2-2-2009, ДСТУ Б В.2.6-35:2008.

При встановленні теплоізоляційного шару необхідно забезпечити щільне прилягання плит одна до одної, до несучої частини стіни, а також до елементів несучого каркаса. Загальна площа повітропроникних щілин не має перевищувати 5 % площі поверхні фасаду. Ці повітропроникні щілини можуть знаходитися у місцях стикування плит теплоізоляційного шару та проходження через них елементів несучого каркаса. Роботи з монтажу конструкцій фасадної теплоізоляції повинні виконувати організації, що мають відповідну ліцензію і фахівців, які пройшли навчання з виконання відповідних робіт у організації-розробника конструкції фасадної теплоізоляції або її офіційного представника. Операційна послідовність монтажу встановлюється залежно від конструктивного рішення фасадної теплоізоляції у нормативних документах та у проектній документації на виконання ізоляційно-опоряджувальних робіт.

30.2.1. Зовнішні стіни з опорядженням цеглою

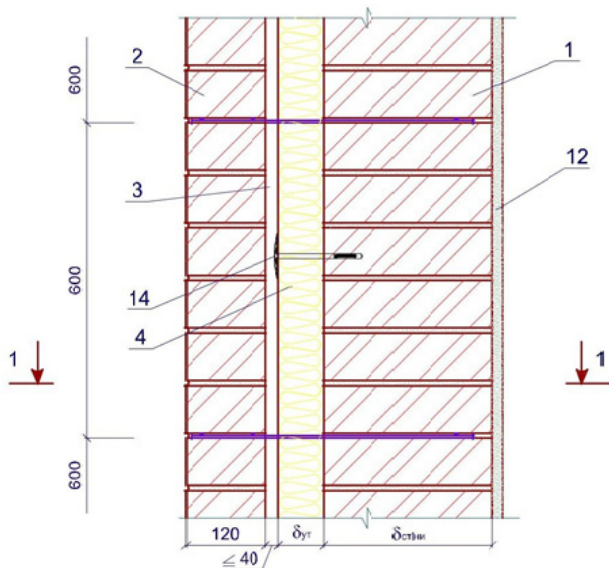
Зовнішні стіни з опорядженням цеглою виконуються з самонесучою тепловою ізоляцією в межах поверху або ярусу, яка встановлюється на консольні залізобетонні пояси (або монолітні обв'язувальні пояси для сейсмічних районів) з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним шаром з цегли або стінових каменів. Комплект складається з теплоізоляційного шару, опоряджувального захисного шару з цегли або стінового каменю, коннекторів з антикорозійним захисним покриттям або з скловолокнистих стрижнів, фіксаторів теплоізоляційного шару, дискретних кронштейнів з нержавіючої сталі.

В якості теплоізоляції в конструкціях зовнішніх стін з опорядженням цеглою використовуються скловолокнисті плити марки Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» або Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040» та Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041» при влаштуванні сайдингу. Необхідна товщина утеплювача визначається за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температурної зони експлуатації будинку та матеріалу несучої стіни.

В якості опоряджувальної цегли використовується цегла або камені керамічні лицьові або стандартні згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008, а також силікатна цегла згідно з ДСТУ Б В.2.7-80:2008. У разі лічкування силікатною цеглою цоколь, пояси, парапети та карниз виконують із керамічної цегли.

Під час нового будівництва опоряджувальний шар з цегли може виконуватися на всю висоту будівлі. При цьому він може бути самонесучим до висоти 6...7 м, а вище навісним з обпиранням на пояси, що виступають із несучої стіни через кожні 2 поверхи (6...7 м) по висоті будівлі. Опорні елементи можуть бути у вигляді залізобетонних теплоізолюваних консолей для несучих та самонесучих стін будинку, металевих кронштейнів із нержавіючої сталі – для навісних зовнішніх стін каркасно-монолітних будинків. Кладка опоряджувального шару з цегли виконується з обов'язковим заповненням горизонтальних і вертикальних швів та з їх розширенням з фасадного боку. Відстань між температурними швами у цегляному опорядженні приймається згідно з ДБН В.2.6-162:2010 як для неопалюваних будівель.

Влаштування опоряджувального шару з цегли здійснюється з утворенням повітряного прошарку між опоряджувальним шаром та шаром теплоізоляції товщиною не менш ніж 40 мм. Для забезпечення руху повітря у вентиляваному повітряному прошарку необхідно в опоряджувальному шарі з цегли передбачити отвори за рахунок незаповнення вертикальних швів кладки кожного ярусу в її нижніх та верхніх рядах. Кількість та розмір отворів визначається на підставі розрахунків повітрообміну в прошарку для кожного ярусу окремо (рис. 30.1).



1 - 1

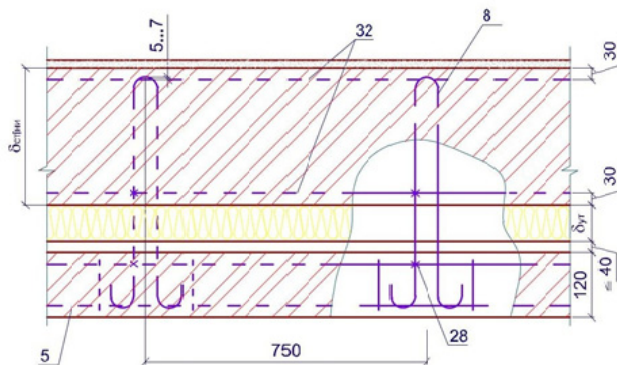


Рис. 30.1. Зовнішні стіни з фасадною теплоізоляцією та опорядженням цеглою, де

- 1** — Стіна (несуча частина); **2** — Опоряджувальна цегла;
- 3** — Вентильований повітряний прошарок;
- 4** — Теплоізоляція; **5** — Закладна сітка M1; **6** — Закладна сітка M2;
- 7** — Зварна оцинкована металева сітка 20x20 мм; **8** — Закладна петля;
- 12** — Внутрішня опоряджувальна штукатурка;
- 14** — Дюбель пластиковий; **28** — В'язальна проволочка;
- 30** — Шуруп; **32** — Арматура 0 6 мм.

При новому будівництві зовнішній опоряджувальний шар з цегли армується з несучою частиною стіни за допомогою сталевих арматурних зв'язків, що розташовуються з кроком 600 мм по висоті, при цьому площа перерізу поперечних стрижнів зв'язків повинна становити згідно з ДБН В.2.6-162:2010 не менше $0,4 \text{ см}^2/\text{м}^2$, або зв'язками зі склопластикової чи базальтопластикової арматури.

Склопластикові стрижні закладають у горизонтальні шви кладки не більш ніж через 600 мм по довжині стіни й не більш ніж 500 мм по її висоті. Сумарна площа перерізу гнучких зв'язків повинна становити не менше 1 см^2 на 1 м^2 поверхні стіни. Під час влаштування кладки склопластикові стрижні, що виконують функцію зв'язків, мають укладатися горизонтально та перпендикулярно до площини стіни. Різниця позначок кінців укладеного стрижня не повинна бути більш ніж 5 мм. Склопластикові стрижні повинні влаштовуватись в горизонтальні шви кладки на відстані не менш ніж 60 мм від вертикальних швів. Склопластикові стрижні повинні заходити в опоряджувальний шар та в несучий шар на глибину не менше 90 мм.

Влаштування кладки опоряджувального та несучого шарів слід виконувати із застосуванням цементно-піщаного розчину марки М25 або вище. При влаштуванні стін у зимовий час кладку слід виконувати з застосуванням розчинів із протиморозними хімічними домішками, що не викликають корозії матеріалів кладки й склопластикових зв'язків, та твердіють за від'ємної температури без обігрівання згідно з ДБН В.2.6-162:2010. Стіни необхідно кріпити до перекриття та покриття за допомогою анкерів. Відстань між анкерами в перекриттях зі збірних панелей, що опираються на стіни, не повинна перевищувати 6 м.

Технологія виконання робіт має виключати можливість розхитування гнучких склопластикових в'язей. У зв'язку з цим рекомендується виконувати роботи в такій послідовності:

- влаштовується опоряджувальний шар до рівня гнучких зв'язків;
- влаштовується теплоізоляційний шар на 50-100 мм вище рівня опоряджувального шару;
- влаштовується несучий шар до наступного рівня гнучких зв'язків;
- гнучкі зв'язки встановлюються шляхом простромлювання крізь теплоізоляційний шар. Якщо при цьому горизонтальні шви несучого та опоряджувальних шарів стіни, в яких ставляться зв'язки не збігаються більш ніж на 20 мм, то гнучкі зв'язки розміщуються у вертикальному шві;
- влаштовується по одному ряду цегли в несучій частині стіни та в опоряджувальному шарі.

Надалі влаштування кладки здійснюється в тій самій послідовності. При реконструкції зовнішній опоряджувальний шар з

цегли механічно кріпиться до існуючої стіни арматурною сіткою за допомогою кронштейнів, закріплених на анкерах. Парапети, пояси, укоси тощо повинні мати надійні зливи з оцинкованої сталі, що забезпечують відведення атмосферної вологи й виключають можливість її стікання безпосередньо по поверхні стіни та замочування теплоізоляційного шару. Усі відкриті поверхні сталевих елементів, що виходять на фасад, та анкери, що встановлюються в кладці, повинні бути захищені шаром антикорозійного покриття товщиною 120 мкм або лакофарбовими покриттям згідно зі СНиП 2.03.11-85.

30.2.2. Зовнішні стіни з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням

Проектування зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням здійснюється з урахуванням вимог ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Зовнішні стіни з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням виконуються з тепловою ізоляцією, що навішена на несучу частину стіни з утворенням вентиляльованого повітряного прошарку між її зовнішньою поверхнею та опоряджувальним шаром. Комплект складається з теплової ізоляції, повітрязахисного шару, опоряджувального зовнішнього захисного шару з непрозорих тонкостінних елементів індустриального виготовлення; кріпильного каркасу, до складу якого входять несучі та з'єднувальні елементи, кронштейни, напрямні вироби; елементів кріплення тепло- і повітрязахисних шарів; елементів примикання до будівельних конструкцій будинку.

В якості теплоізоляції в конструкціях зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням використовуються скловолокнисті плити марок «ТЕПЛОплита 037»:

- в якості першого (внутрішнього) шару при двошаровій конструкції теплоізоляції (без обмеження по висоті будівлі), при цьому в якості зовнішнього шару використовуються плитні матеріали з мінеральної вати густиною не менше 75 кг/м^3 .
- в якості одношарової ізоляції з додатковим вітрозахисним шаром із мембранних плівок при кріпленні утеплювача тарільчатими дюбелями або ґратчастим каркасом (без обмежень по висоті будівлі).

Плити Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» можуть використовуватись в якості одношарової теплоізоляції з додатковим вітрозахисним шаром із мембранних плівок або в двошаровій теплоізоляції в якості внутрішнього шару при кріпленні утеплювача тарільчатими дюбелями або ґратчастим каркасом на будівлях

висотою до п'яти поверхів включно. Необхідна товщина утеплювача визначається за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температурної зони експлуатації будинку та матеріалу несучої стіни. Несуча частина стіни повинна бути виконана з бетону марки не менше В15, цегли марки за міцністю не нижче 75, ніздрюватого бетону марки за густиною не менше D600, природного каменю тощо.

Несучу здатність конструкцій кріпильного каркасу необхідно визначати відповідно до вимог ДБН В.2.6-162:2010, ДБН В.2.6-163:2010, ДБН В.2.6-165:2011, розрахунки здійснюються на навантаження і впливи і їх сполучення згідно з ДБН В.1.2-2:2006. При розрахунках слід враховувати такі навантаження і впливи:

- навантаження від власної маси;
- позитивні та негативні вітрові навантаження;
- навантаження від двобічного обледеніння опоряджувального шару;
- температурні деформації і впливи кліматичних факторів;
- сейсмічні та деформаційні навантаження.

Кріпильний каркас до несучої стіни кріпиться за допомогою дюбелів, кількість яких слід розрахувати, виходячи з умов зусилля відриву дюбеля з матеріалу стіни (бетон, цегла тощо), міцності і допустимих деформацій розпірних елементів дюбелів. Розрахунок кількості анкерних дюбелів проводять для двох зон будівлі (рядової та крайньої), що прилягає до краю та утворює кут, для якої значення вітрового навантаження приймають з урахуванням динамічного коефіцієнта. Ширину крайньої зони приймають не менше 1,0 м та не більше 2,0 м. Розпірні елементи дюбелів для кріплення каркаса повинні бути виготовлені з нержавіючої сталі марки 25X13H2 або зі сталі марки 20 з цинковим покриттям завтовшки не менше 45 мкм згідно з діючими нормативними документами.

Профілі каркаса повинні бути виготовлені з алюмінію марки АД31Т згідно з ГОСТ 4784-97 з товщиною анодно-окисного захисного покриття не менше 20 мкм і шаром лакофарбового покриття завтовшки не менше 40 мкм або з гнутих профілів із тонколистової оцинкованої сталі II класу завтовшки гарячого цинкового покриття згідно з ГОСТ 14918-80, або з гнутих профілів із тонколистової оцинкованої сталі I класу товщини гарячого цинкового покриття згідно з ГОСТ 14918-80 і шаром лакофарбового покриття завтовшки не менше 60 мкм, або з тонколистового прокату із корозійностійкої сталі марок X18T, X18H10, X18H10T, X22H6T, або 08X18H10. Кріпильні вироби необхідно використовувати з корозійностійких матеріалів, що відповідають вимогам ГОСТ 10618-80, ДСТУ ГОСТ 7798-2008, ДСТУ ГОСТ 1491-2008, ГОСТ 17475-80. Дозволяється використовувати не корозійностійкі матеріали, але вони повинні мати

анодно-окисне захисне покриття завтовшки не менше 20 мкм або цинкове покриття завтовшки не менше 40 мкм. Клямери повинні бути виготовлені з тонколистового прокату із корозійно-стійкої сталі марок Х18Н10Т, Х22Н6Т або 08Х18Н10 згідно з діючими нормативними документами.

В якості опоряджувального шару повинні використовуватись керамічна плитка згідно з ДСТУ Б В.2.7-282:2011, плити з природного каменю згідно з ДСТУ Б EN 12057:2007, ДСТУ Б EN 12058:2007, листи азбоцементні згідно з ДСТУ Б В.2.7-52-96 (ГОСТ 18124-95), цементно-стружкові плити (ЦСП) згідно з ДСТУ Б В.2.7-277:2011, металеві листи, плити зі штучного каменю, плити з металевих композитних матеріалів тощо. Для будинків I ступеня вогнестійкості опоряджувальні матеріали, що використовуються при улаштуванні конструкцій фасадної теплоізоляції, повинні бути негорючими.

Для будинків II, III, IIIа, IIIб, IV і IVа ступенів вогнестійкості опоряджувальні матеріали можуть бути виготовлені з матеріалу групи горючості Г1 згідно з ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94) та групу займистості В1 згідно з ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) з обов'язковим протипожежним поясом із негорючого матеріалу товщиною, що дорівнює двом товщинам теплоізоляційного шару, через кожні три поверхи.

Плити теплоізоляції кріпляться до несучої частини стіни тарілчастими дюбелями із розрахунку 6-8шт на 1м² (5% притиснення матеріалу дюбелем). Повітрозахисна мембранна плівка, що використовується для уникнення продування та зволоження теплоізоляційних плит має вкладатися в один шар з напуском суміжних полотнин у зоні стиків не більш ніж на 100÷150 мм. Товщина вентиляованого повітряного прошарку повинна бути не менше 40 мм і не більше 150 мм. Оптимальна товщина вентиляованого повітряного прошарку складає від 60 мм до 100 мм.

У разі використання горизонтальних елементів кріпильного каркаса або з комбінованою конструкцією кріпильного каркаса при поверховому чи ярусному розділенні повітряного прошарку для забезпечення руху повітря в вентиляованому повітряному прошарку в горизонтальних елементах слід передбачати отвори, розмір яких визначається на підставі розрахунків повітрообміну в прошарку. Влаштування конструкцій фасадної теплоізоляції необхідно здійснювати на стіну, відхилення якої не перевищує значень:

- від вертикалі 1/1000 висоти будинку, але не більше 50 мм на всю висоту будинку;
- по горизонталі не більше 15 мм на 10 м довжини стіни;
- від прямолінійності по вертикалі не більше 10 мм на 2 м.

Не допускається суміщати монтаж конструкцій фасадної теплоізоляції на одній вертикальній ділянці з монтажем конструкцій

несучої частини. При відкритому кріпленні опоряджувального шару клямери, що розміщуються з кроком, який відповідає розмірові опоряджувальних плит, кріпляться до напрямних заклепками. При цьому конструкція клямерів визначає величину горизонтального та вертикального проміжку між плитами опорядження.

При прихованому кріпленні на плитах опорядження передбачаються опорні елементи для їхнього навішування на горизонтальні напрямні. Опорний елемент кріпиться за допомогою втулки, яка вставляється в попередньо розсвердлений отвір у плиті. Фіксація плит у проектному положенні забезпечується по вертикалі регульовальним гвинтом опорного елемента, а по горизонталі — шляхом вільного пересування опорного елемента вздовж горизонтальної напрямної. При опоряджувальному шарі з композитних касет перед їхнім установленням усередину напрямної вставляються полозки з поперечним штифтом. Полозки кріпляться до напрямних двома заклепками. Після навіски на штифти касету вирівнюють до проектного положення й кріплять заклепками через верхній відгин касети до напрямних.

30.2.3. Зовнішні тришарові стіни з опорядженням сталевим оцинкованим профільованим листом

Зовнішні тришарові стіни з опорядженням сталевим оцинкованим профільованим листом виготовляються на основі каркасних конструкцій пошарового складання або з тришарових панелей. Для зниження трудомісткості виконання робіт доцільно збирати панелі на об'єкті будівництва з подальшим монтажем. Зовнішні тришарові стіни з опорядженням сталевим оцинкованим профільованим мають зовнішній каркас, виконаний зі сталевих швелерів, до якого заклепками кріпляться профільований лист внутрішньої обшивки та внутрішній каркас панелі, а до нього — профільований лист зовнішньої обшивки.

В якості теплоізоляції таких конструкцій використовуються скловолокнисті плити марки Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» або мати Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040»/«ТЕПЛОрулон 041» з обов'язковим влаштуванням повітрязахисного шару з мембранної плівки. Необхідна товщина утеплювача визначається за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температурної зони експлуатації будинку та матеріалу несучої стіни.

Кріплення тришарових панелей до несучих конструкцій сталевого каркасу здійснюється за допомогою високоміцних болтів. Містки холоду поміж металічними елементами конструкції усуваються шляхом мінімізації площі контакту і використанням термороздільних

смуг із пінополіетилену товщиною не менш 40 мм або із жорсткої мінераловатної плити товщиною 30 мм.

30.2.4. Зовнішні тришарові стіни поелементного збирання

Зовнішні стіни виконуються з тришарових панелей поелементного збирання із застосуванням касетних профілів товщиною від 0,7 до 1,5 мм.

Теплоізоляція виконується, в два або три шари (з метою перекриття стику між плитами) із матеріалу марок: Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040» або Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041». Зовнішнє опорядження виконується з профільованого металевого листа, фасадних панелей та сайдингу, що виготовляються з оцинкованої сталі товщиною від 0,5 мм до 1,2 мм за ГОСТ 14918-80 з лакофарбовим або полімерним покриттям. Для підсилювання профілів у вузлах примикання віконних блоків застосовуються елементи жорсткості у вигляді гнутих профілів С-образного перерізу. Кріплення профілів один до одного та до сталевих колон каркасу здійснюється саморізами. Між зовнішньою металевою обшивкою стіни та полицями профілю мають бути передбачені теплоізолюючі елементи з мінераловатної плити чи пінополіетилену. Горизонтальні та вертикальні стики профілів заклеюються алюмінієвою клейкою стрічкою. Проміжок між нижньою полицею профілю та цоколем заповнюється ущільнювачем і заклеюється алюмінієвою стрічкою з боку приміщення. Монтаж стін проводиться в напрямку знизу вгору, починаючи зі встановлення профілів.

30.2.5. Зовнішні дерев'яні стіни каркасного типу

Каркас дерев'яних утеплених стін виготовляється з бруса, ширина якого залежить від товщини теплоізоляції, що виконується зі скловолокнистих плит марок Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040» або Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041» з обов'язковим влаштуванням повітрязахисного шару з мембранної плівки. З внутрішнього боку приміщення між внутрішньої обшивкою та теплоізоляційними плитами необхідно влаштування пароізоляційної плівки. Зовнішня обшивка може виконуватися з дерев'яних дошок, а внутрішня — із дошок або гіпсокартонних плит із подальшим оздобленням. Між зовнішньою обшивкою та теплоізоляційними плитами необхідно влаштування вентилязованого повітряного прошарку.

30.2.6. Зовнішні дерев'яні стіни з брусу

Для підвищення теплоізоляції стін із брусу перерізом 100×100 мм та 150×150 мм при новому будівництві та реконструкції рекомендується передбачати утеплення марками Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» або Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040» чи Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041», що влаштовуються за допомогою дерев'яного каркасу. Опорядження стіни з зовнішнього боку може бути виконане обшивкою дошками, тощо. Дерев'яні несучі конструкції повинні бути виконані з пиломатеріалів хвойних порід згідно з діючими нормативними документами. Для виготовлення настилів та дерев'яної лати застосовується деревина 3-го сорту, а для несучих елементів (прогонів, стійок, підкосів, зв'язків) — деревина 2-го сорту.

30.2.7. Перегородки

Перегородки являють собою конструкцію, що складається з металевого або дерев'яного каркасу, звукоізоляційного шару та обшивки з гіпсокартонних плит (ГКП), прикріплених до каркаса на саморізах.

В якості звукоізоляції використовуються скловолокнисті плити та мати марки Акустична перегородка (рис. 30.2).

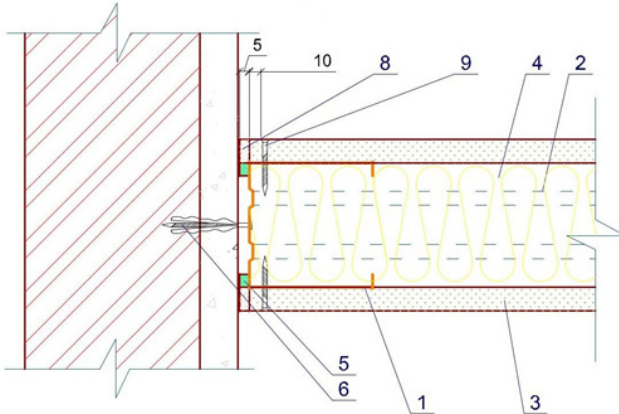


Рис. 30.2. Перегородки на металевому каркасі, де
1 — Сталевий стойковий профільований каркас ПС; 2 — Сталевий направляючий профільований каркас ПН; 3 — Гіпсокартонні плити (ГКП); 4 — Звукоізоляція (згідно з п. 6.2); 5 — Ущільнююча смуга; 6 — Дюбель; 8 — Шпаклівка; 9 — Самонарізний гвинт; 10 — Грунтовка.

В якості металевого каркасу застосовуються оцинковані профілі стандартної довжини 2750, 3000, 4000 та 4500 мм. Металевий каркас складається зі стійкових профілів ПС 50/50, ПС 75/50 або ПС 100/50 та напрямних ПН 50/40, ПН 75/40 і ПН 100/40. Стійки та напрямні дерев'яного каркаса виконуються з брусків перерізом відповідно 60 мм х 50 мм та 60 мм х 40 мм, виготовлених із хвойних порід деревини не нижче 2-го сорту. Бруски каркаса мають бути оброблені антипіренами та антисептиками згідно з вимогами діючих нормативних документів. Вологість деревини не повинна перевищувати 12 ± 3 %.

Кріплення напрямних металевих профілів та дерев'яних брусків каркасів до підлоги та стелі, а також стійок, що примикають до стін або колон, має здійснюватися дюбелями, що розміщуються з кроком не більше 1000 мм, але не менше 3 кріплень на один профіль (брусок).

Каркасно-обшивну перегородку необхідно встановлювати не на підлогу, а безпосередньо на несучу плиту перекриття через ущільнюючі прокладки. При цьому, між підлогою (яка складається із армованої стяжки і чистого покриття) і перегородкою повинен бути встановлений пружний звукоізоляційний вкладиш товщиною 15-20 мм, вирізаний, наприклад, із жорстких скловолокнистих або мінераловатних плит густиною 75-100 кг/м³. Такий звукоізоляційний вкладиш повинен бути встановлений по всьому периметру даного приміщення так, щоб підлога не мала жорстких зв'язків із вертикальними огородженнями.

При організації вузла примикання перегородки до стелі гіпсокартонні плити не доводять до плити перекриття на 10-15 мм, а залишений зазор (проміжок) ретельно заповнюють герметиком. Стійкові профілі (ПС) каркаса встановлюють між верхнім та нижнім напрямними профілями (ПН) із кроком 600 мм. Гіпсокартонні плити перегородок необхідно закріплювати до стояків каркасу через пружні прокладки товщиною 3-5 мм із м'якої гуми, пористого поліетилену, повсті тощо. Всі стики між окремими гіпсокартонними плитами необхідно ретельно герметизувати, наприклад, зашпаровують гіпсовими шпаклівками. У випадку, коли встановлюються декілька шарів гіпсокартонних плит з того чи іншого боку каркасу, то стики сусідніх шарів не повинні співпадати між собою. При цьому наступний шар гіпсокартонної обшивки укладають тільки після ретельної герметизації швів попереднього шару.

Можливі горизонтальні шви листів зміщують відносно один одного по висоті мінімум на 400 мм. При улаштуванні одношарової перегородки стики між листами повинні припадати на горизонтальний гнучкий металевий профіль, встановлений додатково. Для надійної герметизації стиків необхідно на торцевих кромках листів, які стикаються, зняти фаску під шпаклівку.

Звукопоглинальні мати (плити) повинні бути надійно закріплені в проміжку між обшивками так, щоб виключалася можливість їх просідання в процесі експлуатації. При наявності просідання звукоізоляція перегородки різко погіршується. При монтажі перегородок повинні бути виключені всі можливі щілини і наскрізні отвори, зв'язки між незалежними каркасами, а також слід застосовувати пружні прокладки. Порушення цих вимог може привести до суттєвого зниження звукоізоляції. Технологічні отвори і місця пропусків комунікацій (рукави, кабелі) треба ретельно герметизувати герметиком або гіпсовою шпаклівкою.

В каркасно-обшивних перегородках треба застосовувати електрофурнітуру (вимикачі, штепсельні розетки тощо) накладного типу, установлення яких не потребує вирізання отворів в листах обшивок. У випадках встановлення електрофурнітури врізного типу, установочні коробки з протилежних боків перегородки не повинні бути розташованими співвісно, їх необхідно максимально змістити між собою. Всі нещільності в установочних коробках необхідно ретельно герметизувати герметиком або гіпсовою шпаклівкою.

Сфера застосування перегородок має визначатися з урахуванням вимог ДБН В.1.1-7-2016 та нормативних документів на будівлі різного функціонального призначення.

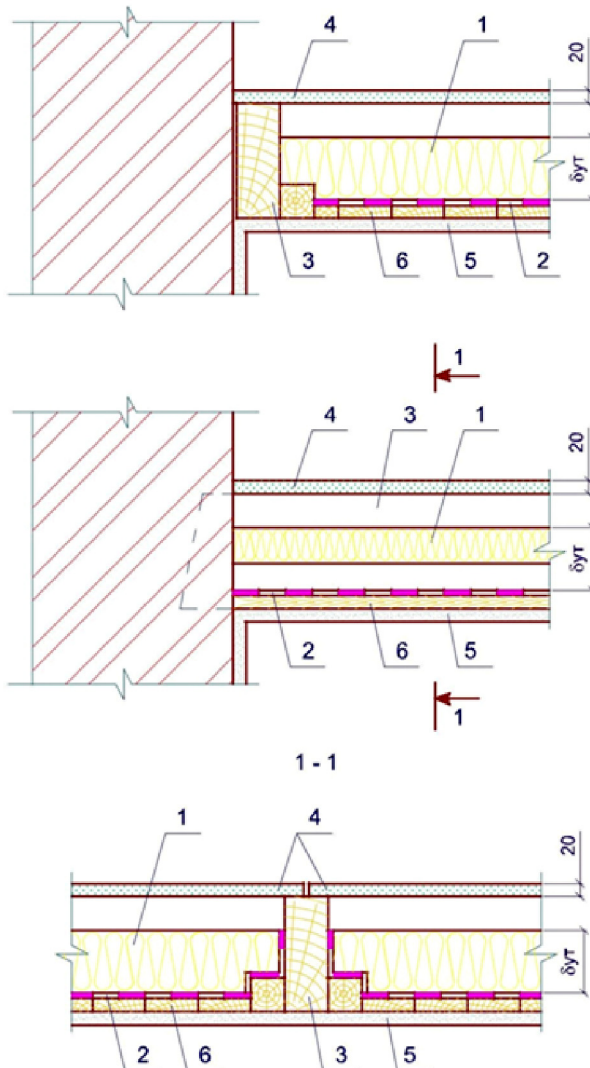
§31. Конструкції горищного перекриття, підлог та інших видів перекриттів

31.1. Конструкція горищного перекриття

Дерев'яне горищне перекриття влаштовується на основі дерев'яних балок. В місці безпосереднього контакту несучих дерев'яних конструкцій з кам'яними, бетонними або залізобетонними матеріалами необхідно передбачати гідроізоляційну прокладку.

В якості утеплювача, що влаштовується між дерев'яними балками перекриття, використовуються скловолокнисті плити Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» та мати Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040», які укладаються «в розпір» між дерев'яними балками з ущільненням шляхом збільшення лінійних розмірів по довжині та ширині не менш чим 5% порівняно з настановними розмірами конструкції. Необхідна товщина утеплювача визначається за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температурної зони експлуатації будинку його призначення та поверховості. Теплоізоляційні матеріали влаштовуються на пароізоляцію з бітумного, бітумно-полімерного рулонного матеріалу або з поліетиленової плівки. Поверх дерев'яних балок перекриття

влаштовують плити ЦСП товщиною 20 мм. Зі сторони приміщення останнього поверху перекриття оздоблюється гіпсокартонними плитами або опоряджувальною штукатуркою. Дерев'яні балки та лаги, а також дерев'яні елементи похилої покрівлі (крокви, лати) повинні бути оброблені антисептиками та антипіренами (рис. 31.1).



*Рис. 31.1. Перекриття холодного горища, де
1 — Теплоізоляція (згідно з п. 7.2); 2 — Пароізоляція; 3 — Дерев'яна балка перекриття; 4 — Цементно-стружкова плита; 5 — Внутрішня опоряджувальна штукатурка; 6 — Дерев'яний щит.*

31.2. Конструкція підлог та перекриттів

Міжповерхові перекриття можуть бути залізобетонними (із збірного або монолітного залізобетону) та дерев'яними.

В якості тепло- та звукоізоляції міжповерхових перекриттів використовуються скловолокнисті плити Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» та мати Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040», що влаштовуються між дерев'яними балками перекриття або між лагами на залізобетонному перекритті (підлога на лагах).

В міжповерхових перекриттях житлових і громадських будинків з нормованими величинами індексів приведенного рівня ударного шуму влаштування підлоги без застосування пружного звукоізоляційного шару в конструкції перекриття не допускається. Улаштування підлоги повинне виконуватися після завершення всіх будівельно-монтажних електротехнічних і санітарно-технічних робіт. До початку виконання робіт по улаштуванню підлоги всі монтажні отвори, стики багатопустотних плит, місця примикання до стін і перегородок ретельно заповнюють цементно-піщаним розчином марки не нижче М25.

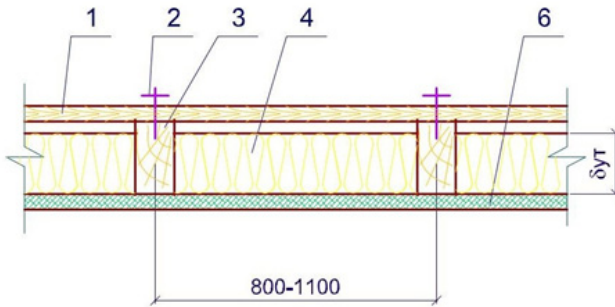


Рис. 31.2. Підлоги та перекриття, де
1 — Дощате покриття підлоги; 2 — Елементи кріплення (цвяхи, шурупи); 3 — Лага; 4 — Тепло- та звукоізоляція згідно з п.8.2; 5 — Шар звукоізоляції; 6 — Гіпсокартонні плити (ГКП).

За потреби (особливо це стосується перекриттів із збірних багатопустотних плит) перед укладанням звукоізоляційного шару плиту перекриття вирівнюють стяжкою чи спеціальним розчином на товщину, що забезпечує рівність поверхні в приміщенні з точністю,

що не перевищує 2 мм. При улаштуванні дерев'яних підлог на лагах використовують стрічкові звукоізоляційні прокладки товщиною 20-30 мм із скловолокнистих плит, які укладають під лаги. При цьому стрічка повинна бути ширшою в порівнянні із шириною лаги більшою не менше ніж на 100 мм. Лаги і дерев'яна підлога повинні бути відокремлені по периметру приміщення від стін зазором шириною 15-20 мм і не мати з ними жорстких зв'язків. Зазор заповнюється пружним матеріалом. При улаштуванні підлоги на лагах плінтуси треба кріпити або тільки до стін з зазором від підлоги, або тільки до підлоги з зазором від стін. Необхідність влаштування пароізоляції в конструкції перекриття визначається розрахунком для кожного конкретного випадку в залежності від тепловологісного режиму приміщень, що розділяє перекриття. Розрахунок проводиться згідно з положеннями ДБН В.2.6-31:2016 (рис.31.2).

31.3. Конструкція підвісної стелі

Підвісна стеля являє собою конструкцію, яка складається із несучого каркасу, дерев'яних брусків або металічних профілів, прикріплених до основних конструкцій перекриття та елементів стелі, виконаних з ДСП, ДВП, гіпсокартонних листів. Відстань між конструкцією перекриття та підвісною стелею визначається товщиною несучих елементів каркаса. В якості звукопоглинального матеріалу в конструкціях підвісної стелі використовуються скловолокнисті плити та мати Knauf Insulation «Акустична перегородка» та «Akustiknauf». При монтажі каркасних конструкцій підвісних стель принципове значення має влаштування вузлів кріплення каркаса до поверхні, що захищається. В вузлах кріплення каркаса до перекриття слід застосовувати віброізоляційні ущільнення, що перешкоджають поширенню вібрацій.

Комунікаційні елементи (технологічні трубопроводи водопостачання, парового та водяного опалення, повітроводи, трубопроводи холодильників, кондиціонерів тощо) прокладають, як правило, в шахтах, у яких за потреби облаштовується тепло-звукоізоляція матами Knauf Insulation Thermo-teK LM Eco ALU згідно з проектом ОВ, ВК та ЕО.

Для забезпечення доступу до комунікації в огороженні шахти передбачається технологічний отвір, конструктивне рішення якого має забезпечувати тепло-, звуко- і вогнезахист не нижчий, ніж в огороженні в цілому. Окремі місця пропускання труб та огорожі шахт повинні мати вогнестійкість згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016.

31.4. Конструкція похилої (скатної) покрівлі з різними видами покриттів

31.4.1. Похила покрівля мансард

Несучі конструкції мансард можуть бути виконані з деревини або сталі марок визначених в ДБН В.2.6-163:2010. У перерізі несучі конструкції мансард являють собою рамну конструкцію. Крок рам та перерізи елементів визначаються статичним розрахунком. З'єднання металоконструкцій передбачається зварюванням та болтовим з'єднанням. Перерізи елементів і параметри зварних швів визначаються розрахунком. Дерев'яні несучі конструкції слід виконувати з пиломатеріалів хвойних порід згідно з діючими нормативними документами. Для виготовлення настилів та лати використовуються деревина 3-го сорту, а для несучих елементів кроквяної системи (крокв, розжолобків, мауерлатів, прогонів, стійок, підкосів, зв'язків) — деревина 2-го сорту. З'єднання дерев'яних елементів несучих конструкцій слід передбачити на цвяхах із прямим або шаховим розміщенням цвяхів. Для облаштування дерев'яних несучих конструкцій мають застосовуватися елементи з глибоким антипіреновим просоченням. Несучі елементи конструкції повинні бути розраховані згідно ДБН В.1.2-2:2006, ДСТУ Б В.1.2-3:2006.

В якості теплоізоляції в конструкції похилої покрівлі використовуються скловолокнисті плити Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037» та мати Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040», товщина яких визначається за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2016 в залежності від температурної зони експлуатації будинку, його призначення та поверховості (рис. 31.3).

Теплоізоляція може бути як одношаровою, так і двошаровою. У випадку одношарової теплоізоляції, утеплювач влаштовується в проміжку між кроквами. У випадку двошарової теплоізоляції, з внутрішньої або зовнішньої сторони крокв перпендикулярно кроквам влаштовуються дерев'яні контр лати, в проміжках між якими влаштовується додатковий шар теплоізоляції.

Покриття похилої покрівлі рекомендується виконувати з покрівельної сталі, м'якої черепиці, керамічної чи цементно-піщаної черепиці. При цьому для запобігання утворенню конденсату в конструкції покриття слід передбачити продух (вентильований повітряний прошарок). Товщина вентильованого повітряного прошарку повинна бути від 40 до 60 мм. Для забезпечення теплової тяги величина нахилу покрівля повинна бути не менше 6%. Для унеможливлення просочування холодного повітря через шар теплоізоляції, замочування та вивітрювання волокон утеплювача

необхідно поверх теплоізоляційного шару влаштувати повітрязахисну мембранну плівку. Для запобігання утворенню конденсату в товщі утеплювача в холодний період року з внутрішньої сторони теплоізоляції влаштовується пароізоляційна плівка.

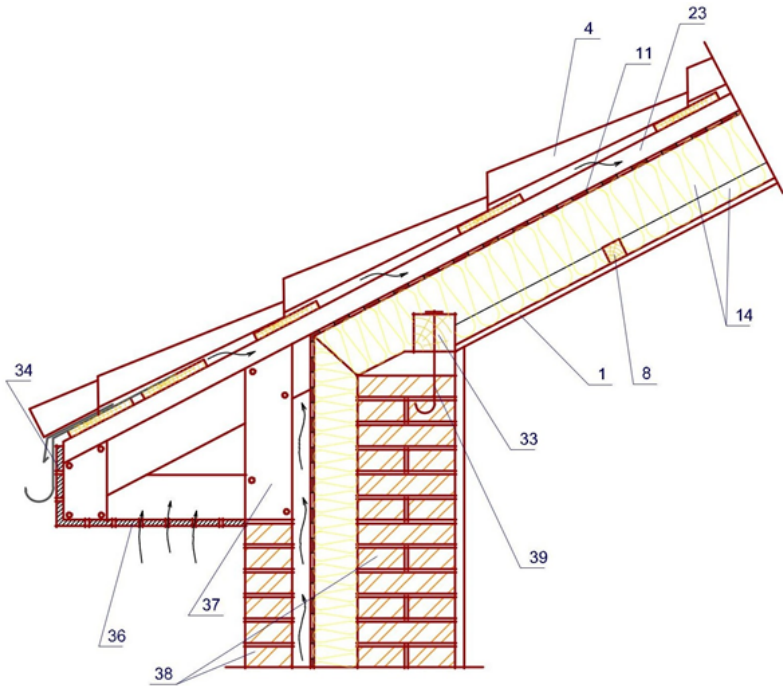


Рис. 31.3. Похила покрівля, де

1 — Гіпсокартонні плити (ГКП); 4 — Покрівля; 8 — Дерев'яний брусок (40x30 мм); 11 — Повітрязахисна мембранна плівка; 14 — Теплоізоляція (згідно з п. 10.8); 23 — Контрлати; 34 — Карнизна планка; 36 — Підшивка карнизу; 37 — Каркас карнизного звісу; 38 — Стіна; 39 — Анкер.

31.4.2. Покриття з профільованим настилом та покрівлю з оцинкованих сталевих профільованих листів

Конструкція покриття включає наступні конструктивні шари, починаючи зі сторони приміщення:

- сталевий профільований настил;
- пароізоляційний шар;

– теплоізоляційні скловолокнисті вироби марок Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 040», Knauf Insulation «ТЕПЛОрулон 041»;

- повітрозахисна мембранна плівка «Защита А»;
- покрівля з профільованих сталевих листів.

В якості покрівельних листів рекомендується застосовувати сталеві гнуті профілі у «перевернутому положенні» з гофрами заввишки не менше 44 мм з цинковим, алюмоцинковим або алюмінієвим покриттям і захисно-декоративним лакофарбовим покриттям. Найдоцільніше застосовувати покрівлю з металевих профільованих листів у будівлях із довжиною схилу до 12 м.

За більшої довжини схилу та нахилу покрівлі більше 10% профільований лист має встановлюватися з напуском вздовж схилу не менше 200 мм та з обов'язковою герметизацією поздовжнього напуску, а при нахилах до 10% — із напуском не менше 300 мм та герметизацією місць поздовжнього та поперечного напуску. Товщину теплоізоляції покриття визначають за результатами теплотехнічних розрахунків згідно з ДБН В.2.6-31:2006 в залежності від температурної зони експлуатації будинку його призначення та поверховості.

В утеплених покриттях для розривання «містків холоду» між верхньою полицею дистанційного прогону та профільованим листом мають встановлюватись прокладки з бакелізованої фанери товщиною 10 мм. Поздовжні та поперечні стики профільованого листа при нахилах до 20% рекомендується герметизувати за допомогою тіколових або силіконових герметиків.

Примикання покрівлі з металевого профільованого листа до стін слід здійснювати з облаштуванням фартухів із оцинкованої сталі товщиною 0,8 мм, пофарбованих з обох боків. Гребеневий та карнизний фасонні елементи, а також фартухи для оздоблення пропусків через покрівлю повинні мати «гребінку» по формі поперечного перерізу металевого профільованого листа. При влаштуванні покрівель зі сталевих профільованих листів роботи ведуться в такій послідовності:

- до прогонів покриття закріплюється несучий профільований настил за допомогою саморізів В6х25, які встановлюються в кожний гофр профілю до крайніх та гребневих прогонів; на проміжних опорах закріплення виконується з кроком через гофр. Крок прогонів — $1,5 \div 3,0$ м;
- з'єднання профільованих настилів між собою у поздовжньому напрямку виконується на заклепках з кроком 250 мм;
- перпендикулярно до гофрів із напуском полотнища на 100 мм розгортається поліетиленова плівка завтовшки 0,2 мм із заведенням

її в другий та третій гофри кожного профільованого листа для встановлення опорних елементів із кроком 750 мм;

- опорні елементи прикріплюють до прогонів двома саморізами в кожному «лапку»;

- дистанційні прогони прикріплюють до опорних елементів через термоізоляцію із бакелізованої фанери;

- теплоізоляція зі скловолокнистих плит або матів виконується врівень із дистанційними прогонами з перев'язуванням стиків нижнього шару верхніми плитами;

- під опорні елементи та дистанційні прогони вкладаються добірні теплоізолюючі вкладиші з того самого теплоізоляційного матеріалу;

- влаштовується повітрязахисна мембранна плівка з напуском полотнин не менш ніж на 100 мм;

- профільовані листи покрівлі прикріплюються до дистанційних прогонів саморізами В6х80 з шайбою та ущільнювачем із герметизуючої стрічки в кожному гофр (гребінь) на карнизних і гребневих прогонах; із кроком через гофр — на проміжних прогонах;

- для збільшення жорсткості поздовжніх країв покрівельних профільованих листів на дистанційний прогін під гофр листа, що накривається, встановлюється елемент жорсткості;

- між собою в поздовжньому напрямку покрівельні профільовані листи з'єднуються на заклепках після нанесення герметизуючого розчину на край профільованого листа, що накривається.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Розташуйте відомі Вам теплоізоляційні матеріали в ряд в залежності від їх теплоефективності.
2. Визначте основні характеристики комфортного перебування людини в житловому приміщенні в залежності від ступеня теплоізоляції останнього.
3. Виберіть теплоізоляційні матеріали найбільш придатні для утеплення вертикальних огороджуючих стін.
4. Які вимоги до теплоізоляційних матеріалів висуваються у європейських стандартах?
5. Які дані повинні відобразитися у маркуванні продукції?
6. Назовіть основні положення побудови ізолюючих систем.
7. Які основні вимоги висуваються до волокнистих та пінопілістирольних плит, що використовуються в системах скріпленої ізоляції в країнах Європейської Співдружності?
8. Яке значення має мати коефіцієнт теплопровідності утеплювача в ССТ?
9. Як забезпечити довговічність систем теплозахисту будівель?
10. Які матеріали Ви можете рекомендувати для утеплення підлоги?
11. Які вимоги висувають до підлоги при влаштуванні ізоляції?

12. Наведіть перелік необхідних матеріалів та виробів для улаштування ізоляції дахів.
13. З якою метою внутрішня поверхня теплоізоляційного матеріалу на дахах захищається пароізоляційною плівкою?
14. Як забезпечити комфортну акустичну обстановку в приміщеннях?
15. Наведіть основні технічні характеристики виробів Knauf Insulation «ТЕПЛОуролон 041» та Knauf Insulation «ТЕПЛОплита 037».

Рекомендована навчально-методична література

1. Энергозбереження у житловому фонді. Проблеми, практика перспективи. Довідник, НДІ проектреконструкція, Київ, 2006. — 138 с.
2. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ: ТОВ УВПК «Екс ОБ», 2004. — 704 с.
3. Долгий Е.М. , Галаган Ю.А. Теплый дом от «Полирем», Киев, 2004 — 47 с.
4. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты жилых зданий. Изд-во Ассоциации строительных вузов, Москва, 2002. — 172 с.
5. Шала И., Махатка Н. Теплоизоляция фасадов зданий на практика ОVKOS, Praha, 2003. — 156 с.
6. Захарченко П.В., Пивень Н.Н. Система скрепленной теплоизоляции — основа тепловой модернизации существующего жилищного фонда. Сборник докладов IV Международной научно-технической конференции «Стройхимия 2007», Киев. — с. 36-41.
7. Альбом технічних рішень тепло- та звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових, громадських та промислових будинків та споруд на основі виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation з ECOSE® Technology. Матеріали для проектування. Київ, 2011.- 151 с.

РОЗДІЛ VII.

АВТОКЛАВНІ ТА НЕАВТОКЛАВНІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНО-КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ (АВТОКЛАВНІ ТА НЕАВТОКЛАВНІ НІЗДРЮВАТІ БЕТОНІ)

Виробництво автоклавних будівельних матеріалів є важливою складовою будівельної індустрії. Особливим, постійно зростаючим попитом на ринку будівельних матеріалів користуються вироби з пористого (ніздрюватого) бетону, в яких поєднані конструкційні та теплоізоляційні функції. Найбільш ефективно їх використання в огорожуючих конструкціях, а також там, де особливе значення приділяється масі елемента конструкції — у покриттях. Маса зовнішніх стін, які виконані з дрібноштучних газобетонних блоків, густиною 400...500 кг/м³, в 3...4 рази менша за цегляні та у два рази менша ніж у керамзитобетонних. Висока економічна ефективність виробів з пористих бетонів зумовила їх широке використання у будівництві.

§32. Класифікація, види та властивості автоклавних та неавтоклавних ніздрюватих бетонів

Пористий бетон за своїми якісними показниками повинен відповідати вимогам стандартів України ДСТУ БВ2.7-45-96, Росії ГОСТ 21520, ГОСТ 19570, Республіки Білорусь СТБ 1117, а також німецьких стандартів ДІН 4165, 4166, 4223Е. При цьому разом з високими фізико-технічними властивостями пористого бетону (густина 350...700 кг/м³), міцність на стиск 2,0...7,5 МПа) повинна бути забезпечена висока точність геометричних розмірів готових виробів — $\pm 1,0$ мм. Крім того сучасні технологічні лінії дають змогу виробляти вироби системи "паз — гребінь".

Ніздрюватим бетоном називають штучний будівельний матеріал з великою кількістю рівномірно розподілених повітряних чарунк, що займають зазвичай від 50 до 90% об'єму матеріалу, діаметром до 2 мм, тонкі стінки яких складаються із затверділого розчину.

Автоклавні (неавтоклавні) газо- та пінобетони відносяться до класу ніздрюватих пористих бетонів. Від звичайних важких та легких бетонів ніздрюватий бетон відрізняється тим, що в ньому заповнювачем є повітря в замкнених чарунках. Ця властивість вигідно відрізняє пористий бетон від звичайних, т.я. його Густина звичайно нижча, а звуко- та теплоізоляційні характеристики та повітропроникність в декілька разів вищі. Тому в сучасній будівельній практиці, при постійному посиленні вимог до теплоопору, цей матеріал стає незамінним в огорожуючих конструкціях будівель.

Ніздрюваті бетони класифікують:

в залежності від області використання — на теплоізоляційні густиною до 500 кг/м^3 , теплоізоляційно-конструкційні густиною $500\text{...}900 \text{ кг/м}^3$ та конструкційні густиною більше 900 кг/м^3 .

Теплоізоляційний ніздрюватий бетон має низьку Густина та теплопровідність ($\lambda = 0,08\text{...}0,12 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), але невисокі міцнісні характеристики дозволяють використовувати його для виконання теплоізоляційно-конструкційного елемента зовнішніх стінових конструкцій на висоту одного поверху при вертикальному монтажі, та потребують додаткового захисту від навантажень при використанні його в якості утеплюючого матеріалу в горизонтальних площинах покриття будівель і споруд.

Конструкційно-теплоізоляційний пористий бетон найбільш широко вживаний в будівельній практиці стіновий матеріал. При достатньо низькій густині $\rho = 500\text{...}600 \text{ кг/м}^3$ та теплопровідності $\lambda = 0,1\text{...}0,14 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ його міцнісні показники складають $R_{cm} = 2,5\text{...}3,5 \text{ МПа}$, що дозволяє використовувати його в якості стінового матеріалу в 5-ти поверхових будинках з несучими стінами.

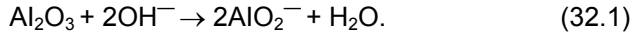
за способом утворення пористої структури — на газобетон, який отримують за рахунок введення в розчин газоутворювачів, речовин які при хімічній взаємодії з лужними складовими розчину, спучують масу, та пінобетон, який отримують змішуванням розчину з задалегідь підготовленою піною.

Сучасні газоутворювачі повинні відповідати наступним вимогам: плавний хід процесу газовиділення з одержанням нетоксичних і не викликаючих корозію продуктів; великий об'єм виділеного газу (велике газове число); відповідність температурного інтервалу максимального газоутворення найбільш придатним пружно-пластичним характеристикам матеріалу, в якому відбувається газовиділення; стійкість в умовах зберігання та транспортування, доступність і відносно низька вартість.

Газове число — це об'єм газу (мл), приведений до нормальних умов, який виділяє в одиницю часу 1 г газоутворювача при температурі максимального газовиділення. Його використовують для первинної оцінки ефективності газоутворювача.

В даний час найбільш розповсюджений низькотемпературний газоутворювач — алюмінієва пудра. Вона представляє собою тонкодиспергований порошок алюмінію, який має форму пелюстків з середнім діаметром біля $20\text{...}50$ і товщиною $1\text{...}3$ мкм. Кожна частинка алюмінію покрита тонкою оболонкою стеарину, що надає пудрі гідрофобність. В результаті пудра набуває високу покривельну властивість і спливаємість (вона призначена для лакофарбової промисловості). Однак в технології теплоізоляційних матеріалів це різко погіршує розподілення газоутворення в масі.

Уже в процесі помелу кожна частинка алюмінію окислюється і покривається щільною окисною плівкою. Сильні луги і кислоти при середній концентрації розчиняють захисну окисну плівку на поверхні алюмінію:



З безоболонкової поверхні алюміній переходить в розчин в вигляді іонів Al^{3+} , при цьому виділяються три моля водню:



Таким чином, 1 г Al виділяє 1250 см^3 водню, а при температурі оптимального газовиділення (50°C) – майже 1500 см^3 .

Піну для пінобетонної технології одержують в процесі інтенсивного перемішування водного розчину піноутворювачів, що вміщують у своєму складі ПАР.

Піна, що використовується для виробництва пінобетонів, повинна задовольняти наступні вимоги:

- Осадка піни через — 1 год не більше 10 мм;

Осадка піни характеризується величиною руйнування нормованого по вологості стовпчика піни в одиницю часу.

- Відхід води через — 1 год не більше 80 см^3 ;

Відхід води характеризує стійкість піни і виражається в кубічних сантиметрах води, що накопичується під піною, в одиницю часу.

- Кратність піни — не менше 10;

Кратність піни (вихід піни) показує, в скільки разів об'єм піни більше початкового об'єму водяного розчину піноутворювача.

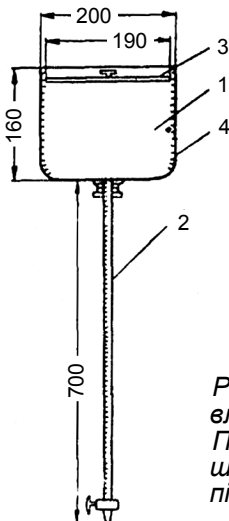


Рис. 32.1. Схема приладу ЦНІПС-1 для перевірки властивостей піни.

По шкалі 4 судини 1 вимірюють осадку піни; по шкалі бюретки 2 визначають об'єм води, виділеної піною, що руйнується

Якість піни визначають за допомогою приладу ЦНІПС-1 (рис. 32.1.). Прилад складається з скляної або целулоїдної судини, скляної бюретки-трубки діаметром 14 мм і висотою 700 мм, об'ємом 50 см³ і алюмінієвого поплавка вагою 25 г. Судина має діаметр 200 мм і висоту 160 мм з отвором внизу.

До основних переваг бетонної суміші та укладання її в бортоснастку на будівельному майданчику;

- транспортування бетонної суміші та укладання її в бортоснастку на будівельному майданчику;
- організація процесів тверднення при звичайних температурах (економія енергоресурсів);

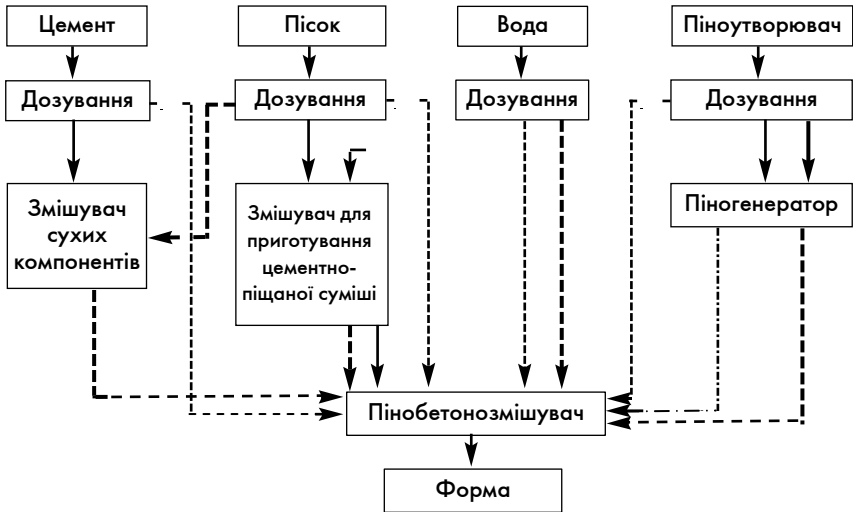


Рис. 32.2. Технологічні схеми виробництва пінобетонних виробів:

- а. метод роздільного приготування високократної піни та цементно-піщаного розчину з наступними їх змішуванням в пінобетонозмішувачі;
- б. «сухий» метод приготування пінобетону, передбачає попереднє приготування низькократної піни та перемішування її в пінобетонозмішувачі з одночасним додаванням до неї попередньо приготовленої (сухої) цементно-піщаної суміші;
- в. приготування пінобетонної суміші без попереднього приготування піни передбачає застосування в якості пінобетонозмішувача агрегата з високообертливим робочим органом

В той же час існуючі недоліки значно обмежують широке застосування пінобетонів неавтоклавного тверднення:

- великі витрати в'язучого;
- уповільнені темпи тужавлення та набору міцності в процесі тверднення;
- висока усадка матеріалу, що супроводжується руйнуванням граней та кутів виробів.

Нижче на рис. 32.2. (а, б, в) наведені способи виготовлення пінобетонних виробів:

- в залежності від виду в'язучого, яке використовують — на газу та пінобетон на цементі, вапні або змішаному в'язучому (цемент + вапно), на шлаковому та зольному в'язучому.
- за умовами тверднення — на неавтоклавні; що тверднуть в природних умовах, або пропарені при атмосферному тиску та автоклавні, які запарюють в автоклавах при підвищеній температурі та тиску — не менше 170 °С та 0,8 МПа.

32.1. Властивості ніздрюватих бетонів

Густина матеріалу визначається у висушеного до постійної маси ніздрюватого бетону. При випуску його з заводу густина практично вища із-за наявності вологи та арматури. Методи її визначення в сухому стані описані в національних стандартах (ДСТУ БВ.2.7-45-96).

За показниками середньої густини в сухому стані ніздрюваті бетони поділяють на D300; D350; D400; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1200.

Зазвичай автоклавний ніздрюватий бетон має густину 300...1200 кг/м³. Хоча в деяких країнах для несучих елементів прийняті нижні границі густини, однак для несучих виробів і армованих конструкцій, які працюють на вигин повинна бути забезпечена густина бетону 500 кг/м³ і більше.

При випуску матеріалу з заводу вологовміст його може складати до 20...30% від маси. Ця волога випаровується поступово, і рівновагова вологість в огорожуючих конструкціях (складає 4...6% по масі) звичайно досягається після 1...2 років експлуатації.

Структура ніздрюватого бетону характеризується порами, які утворені воднем, повітрям і водою в процесі формування і случування. У відповідності з розмірами і фізичними характеристиками вони розділяються на мікроі макропори (рис. 32.3.). Мікропори вважаються капілярно-активними в протилежність макропорам, які займають весь залишковий об'єм пор.

Структура пор визначає такі фізичні властивості матеріалу, як міцність, теплопровідність, капілярність, морозостійкість та ін.

Розподілення мікропор за розмірами впливає на властивості бетону, такі як замерзання і міграція вологи. Як уже зазначалося віброударна технологія дозволяє різко зменшити кількість мікропор у ніздрювatomу бетоні, що значно підвищує його техніко-експлуатаційні характеристики. Бажана форма макропор сферична. Однак якщо більшість пор має овальну форму в одному визначеному напрямку, то можна передбачити, що фізичні характеристики бетону будуть відрізнятися в залежності від напрямку великої і малої осі еліпсів, що в свою чергу призведе до створення будівельної конструкції в якій розміщені ділянки з різними коефіцієнтами теплоопору.

Проникність. Під проникністю розуміють здатність бетону пропускати гази, особливо повітря. Проникність змінюється в залежності від вологовмісту в матеріалі: із збільшенням вмісту вологи проникність пор зменшується. Однак навіть якщо матеріал зовсім не містить вологи, то проникність при нормальних перепадах тиску (наприклад, при дії вітру) буває настільки низькою, що не повинна прийматися в розрахунок. З іншої сторони повітря може проникати через невірні виконані шви та інші поєднання елементів споруди. На проникність водяної пари (дифузії) також впливає вологовміст, причому різні методи дослідження дають різні результати.

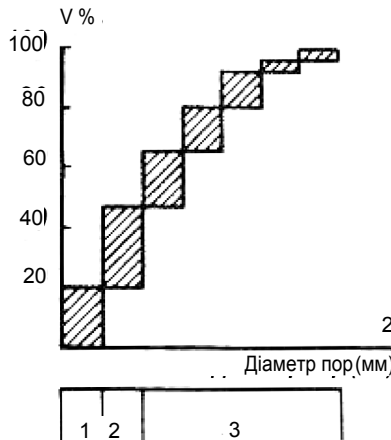


Рис. 32.3. Приклад розподілення пор в ніздрювatomу бетоні густиною 500 кг/м^3 :
 1 — міжпорові перегородки;
 2 — мікропори;
 3 — макропори

Розчинність у воді.

Цементуюча речовина, що складається з гідросилікатів кальцію та алюмінію, надає матеріалу міцності і не розчиняється у воді. В той же час ніздрюватий бетон може містити частину розчинних солей, які у певних умовах (наприклад, при повільному висиханні) можуть викристалізовуватись на поверхні (у вигляді висолів). Кристали, які таким чином утворились, можуть бути видалені щіткою. При нормальних умовах висихання висоли не утворюються.

Капілярність. Мікропори мають незначне капілярне всмоктування, що відбувається виключно через пори в стінках чарунок, які в свою чергу виконують роль компенсаційного об'єму для вільної вологи. Тому капілярний підсос в ніздрюватому бетоні більш повільний в порівнянні з деякими іншими матеріалами (наприклад, з керамічною цеглою). Капілярність також впливає на процес видалення початкової вологи.

Міграція вологи. Волога переміщується в матеріалі через капілярний підсос і дифузію. При нормальному вологовмісті міграція обумовлена дифузією; із збільшенням вологовмісту волога мігрує в результаті капілярного підсосу. При вологості більше 40% (по масі) переміщення вологи відбувається майже повністю внаслідок капілярності. На міграцію впливають також структура пор, розмір елементів, теплопровідність матеріалу, температура, тиск пари і рух повітря, впливу якого зазнає поверхня конструкції.

Усадка та набухання. Усадка при висиханні зазвичай визначається в умовах переходу від водонасиченого стану до рівноважного при 43%-ній відносній вологості повітря і при +20 °С

На рис. 32.4. представлений приклад впливу зміни вологості на величину усадки. Результати досліджень усадки можуть значно змінюватися в залежності від розмірів зразків і методик досліджень.

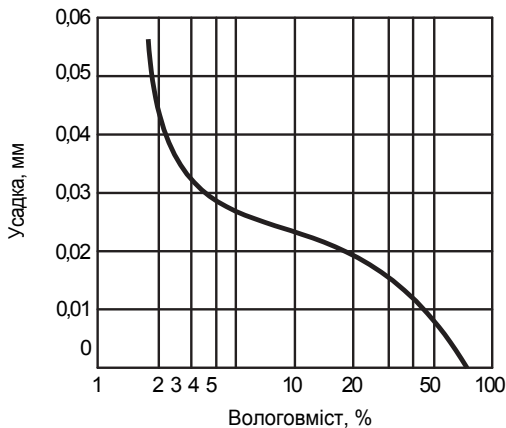


Рис. 32.4. Усадка ніздрюватого бетону при вологовмісті в % від маси

На практиці представляє інтерес тільки усадка, яка виникає при зниженні відпускної вологості до досягнення рівновагової. Необхідно відмітити, що усадка збільшується в результаті надмірного висушування (нижче рівновагової вологості) при 43%-ній відносній вологості повітря. На практиці при існуючих кліматичних умовах розбухання знижує усадку.

Теплове розширення. Коефіцієнт теплового розширення автоклавного газобетону складає близько $8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$. Це менше, ніж у щільного бетону та сталі. Завдяки теплоізоляційним властивостям ніздрюватого бетону і наявності арматури при температурному перепаді від однієї сторони елемента до другої він буде згинатися по напрямку до більш теплої сторони. Це явище повинно враховуватися при проектуванні з'єднувальних деталей.

Морозостійкість. Небезпека ушкодження в результаті впливу від'ємних температур може виникнути в тому випадку, якщо фактична вологість будь-якої частини конструкції перевищує критичну вологість матеріалу. Дослідження ніздрюватого бетону густиною 500 кг/м^3 , виготовленого в Швеції, показали, що критична вологість складає близько 40% по об'єму. Зазвичай найбільш висока вологість в матеріалі відмічається в період будівництва, до того як відбудеться процес висушування. Однак на цій стадії вона рідко досягає 15...20% по об'єму. Однак, в деяких точках ближче до поверхні елемента, в екстремальних умовах (дощ, сніг) вологовміст може бути значно вищим; в цьому випадку небезпека ушкодження від впливу холоду збільшується. Однак широке використання ніздрюватого бетону при будівництві в суворих кліматичних умовах підтвердило високу морозостійкість цього матеріалу.

Для виробів з пористих бетонів, які використовують в конструкціях, що піддаються перемінному замерзанню та відтаванню встановлюють марки по морозостійкості: F15; F25; F35; F50 ; F75; F100.

Вплив сухого повітря при високій температурі. Якщо ніздрюватий бетон піддається впливу сухого повітря при високій температурі на протязі тривалого періоду, то може виникнути надмірне висушування, яке призводить до утворення усадочних тріщин. Тому конструкційний ніздрюватий бетон не слід застосовувати в елементах, що експлуатуються в умовах дії сухого повітря при температурі вище $50...70 \text{ } ^\circ\text{C}$ без спеціального захисту. В несучих елементах ніздрюватий бетон може бути підданий впливу більш високих температур (до $700 \text{ } ^\circ\text{C}$). Температура його руйнування складає $1000...1200 \text{ } ^\circ\text{C}$ в залежності від вихідної сировини.

Питома теплоємність — міра здатності матеріалу накопичувати тепло. При нормальному вологовмісті (4...6% по масі) питома теплоємність складає $1...1,1 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

Теплопровідність ніздрюватого бетону залежить в основному від його густини (рис. 32.5.). Іншими факторами, які впливають на теплопровідність, являються вологовміст, температура при якій проводяться випробування, вихідна сировина, структура пор і т.д. Методи досліджень і апаратура також можуть впливати на результати досліджень.

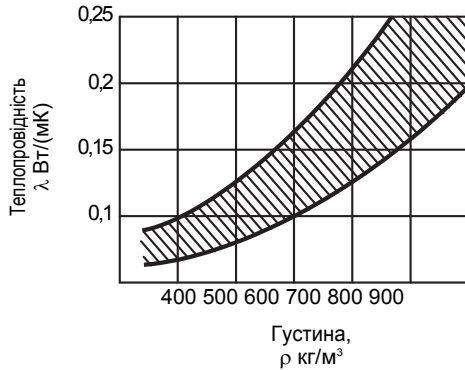


Рис. 32.5. Залежність теплопровідності від густини ніздрюватого бетону в сухому стані

Виробникам рекомендується давати інформацію про теплопровідність бетонів, які ними виготовляються, а також вказувати методи досліджень.

Вогнестійкість. Ніздрюватий бетон — незаймистий матеріал. Низька теплопровідність та невисока рівновагова вологість роблять його придатним для захисту інших конструкцій від впливу вогню. Конструкційні елементи з ніздрюватого бетону також вогнестійкі.

Міцність автоклавного і неавтоклавного пористого бетону характеризують класами за міцністю на стиск: B0,5; B0,75; B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15.

Міцність на стиск. На рис. 32.6 представлені величини міцності на стиск, які можна очікувати по результатам випробування ніздрюватого бетону різних виробників з густиною в сухому стані 300...800 кг/м³. Міцність на стиск залежить від умов випробувань, наприклад від розміру зразку, його вологовмісту (рис. 32.7.), від якості обробки поверхні, точності геометричних розмірів та ін. Тому для отримання коректних порівняльних результатів представляється дуже важливим, щоб методи випробувань були стандартизованими.

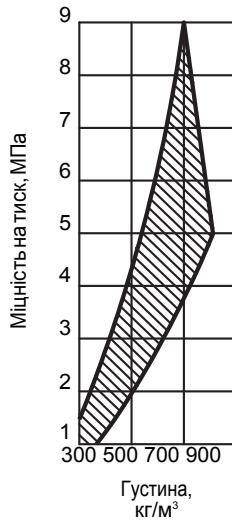


Рис. 32.6. Залежність міцності на тиск від густини ніздрюватого бетону

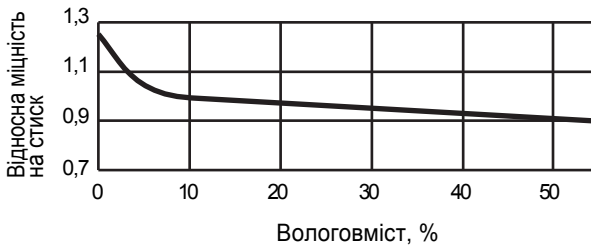


Рис. 32.7. Залежність міцності на тиск від вологовмісту ніздрюватого бетону.

Міцність на розтягнення. Виявлення цієї властивості більш залежить від умов випробувань, ніж вимірювання міцності на тиск. Градієнт вологості всередині зразка дуже впливає на результати випробувань. Зазвичай міцність на розтягнення складає 1/4 ... 1/6 міцності на тиск.

Міцність на розтягнення при вигині. Ця властивість також залежить від градієнта вологості зразка. Зазвичай міцність на розтягнення при вигині трохи вища, ніж міцність при розтягненні.

Міцність на зріз. Руйнування при зрізі завжди є руйнуванням від розтягнення і тому залежить від розподілу напруження при випробуваннях. При чистому зрізі шляхом пробивання циліндричним пуансоном отвору того ж самого діаметру — кінцева міцність на зріз може складати 25...30% міцності на тиск. (У випадку відсутності

будь-якої іншої інформації величина міцності при чистому зрізі може бути прийнята такою як при вісьовому розтягненні.).

Показники фізико-механічних властивостей бетонів наведені в табл.32.1.

Таблиця 32.1.

Показники фізико-механічних властивостей бетонів

Вид бетону	Марка бетону по середній густині	Бетон автоклавний		Бетон неавтоклавний	
		Клас за міцністю на стиск	Марка за морозостійкістю	Клас за міцністю на стиск	Марка за морозостійкістю
Теплоізоляційний	D300	B0,75 B0,50	Не нормується	—	—
	D350	B1 B0,75		B0,75 B0,5	Не нормується
	D400	B1,5 B1			
	D500	—		B1 B0,75	
Конструкційно-теплоізоляційний	D500	B2,5 B2 B1,5 B1	Від F15 до F35	—	—
	D600	B3,5 B2,5 B2 B1,5	Від F15 до F75	B2 B1	Від F15 до F35
	D700	B5 B3,5 B2,5 B2	Від F15 до F100	B2,5 B2 B1,5	Від F15 до F50
	D800	B7,5 B5 B3,5 B2,5		B3,5 B2,5 B2	Від F15 до F75
	D900	B10 B7,5 B5 B3,5	Від F15 до F75	B5 B3,5 B2,5	Від F15 до F75
Конструкційний	D1000	B12,5 B10 B7,5	Від F15 до F50	B7,5 B5	Від F15 до F50
	D1100	B15 B12,5 B10		B10 B7,5	
	D1200	B15 B12,5		B12,5 B10	

Усадка при висиханні бетонів не повинна перевищувати 0,5...0,7 мм/м для автоклавних бетонів марок D600...D1200, 3 мм/м для неавтоклавних бетонів D600...D1200.

Відпускна вологість пористого бетону виробів та конструкцій не повинна перевищувати 25% (по масі) на основі піску і 35 % на основі зол і інших відходів виробництва.

Стійкість ніздрюватого бетону. Автоклавний ніздрюватий бетон – лужний матеріал (рН = 9...10,5). Через свою пористість і порівняно невисоку лужність він погано захищає сталеву арматуру від корозії, порівняно з щільним бетоном. Тому арматура повинна бути захищена одним із відомих способів обробки металевої поверхні. Для перевірки ефективності захисних покриттів приймаються різні

методи, які передбачені національними нормами. Корозія арматури зазвичай дуже незначна при відносній вологості навколишнього середовища менше 50% (при рівноважній вологості бетону).

В ніздрюватому бетоні можуть також кородувати гвіздки, сталеві кріплення, деталі та ін. внаслідок початкової вологості бетону або збільшення її при конденсації водяних парів, а також в результаті проникнення дощу. В тих частинах будівлі, де може бути високий вологовміст (наприклад, зовнішні стіни), використовують алюмінієві гвіздки або анкери з неіржавіючої сталі. Гальванізовані гвіздки і анкери можуть використовуватися там, де є низька рівномірна вологість (наприклад, покриття). Звичайні гвіздки можна використовувати для конструкцій, які експлуатуються всередині будівлі.

Кислоти шкідливі для ніздрюватого бетону так, як і для щільного. Рідини або гази легше проникають в ніздрюватий бетон, отже діють набагато швидше. Тому поверхню матеріалу потрібно захищати від кислотомістких рідин та пари.

Коли свіжевироблений автоклавний ніздрюватий бетон знаходиться у контакті з повітрям, що має нормальний вміст двоокису вуглецю (0,03%), то відбувається реакція між двоокисом вуглецю та гідросилікатами кальцію. Зазвичай вона відбувається повільно, тому якість автоклавного ніздрюватого бетону не змінюється. Але при концентрації двоокису вуглецю вище 0,2% швидко проходить карбонізація гідросилікату кальцію, який являється компонентом свіжовідформованого бетону, в результаті чого утворюються усадочні тріщини. В тих випадках, коли при експлуатації матеріалу очікують вміст двоокису вуглецю вище 0,2%, потрібно отримати рекомендації виробника. Відомо, наприклад, що бездимородні газові або рідкопаливні установки для опалення, що використовуються для приготування їжі або для обігріву, можуть давати концентрацію двоокису вуглецю, яка в 10 разів перевищує її звичайний вміст в повітрі.

Повзучість. Рівень напруги, вологовміст, температура та відносна вологість навколишнього середовища впливають на цей показник. Збільшення температури та відносної вологості повітря викликають збільшення повзучості. Повзучість, яка є наслідком зміни цих параметрів, називається сорбційною повзучістю.

Звукопоглинання. Пориста структура поверхні виробів із ніздрюватого бетону забезпечує покращення звукопоглинання в порівнянні з гладким щільним бетоном. Це забезпечує наприклад, деяке зниження рівня шуму в заводських приміщеннях, особливо при високих частотах. При пофарбуванні поверхні бетону, наприклад нижньої поверхні по покрівельним плитам, цей ефект слабшає. Коефіцієнт звукопоглинання необробленого ніздрюватого бетону при

частоті 125, 250, 500, 1000, 2000 і 4000Гц складає відповідно 0; 0,15; 0,25; 0,2; 0,2; 0,2.

Обробка. Ніздрюватий бетон легко піддається обробці свердлиться, пробивається гвіздками, стругається і т.і. При цьому використовують звичайні інструменти для обробки деревини; маються також і спеціальні пилки та інструменти для обтесування. Несучі елементи, що працюють на вигин, наприклад плити покриттів і перекриттів, балки та ін., не повинні, однак, розпилюватися поперек в умовах будівельного майданчику без дозволу на те виробника. Розпилювання може здійснюватися при відповідному нагляді тільки таким чином, щоб не була ослаблене або порушене анкерування робочої арматури.

§33. Сировина для виробництва ніздрюватих бетонів

Сировиною для виробництва ніздрюватого бетону служать цемент, вапно, шлак, зола, пісок та інші кремнеземвмісні заповнювачі, які при необхідності застосовуються в тонкомеленому вигляді. Повітря чи газ (зазвичай водень) вводять до вихідної суміші таким чином, щоб при твердінні вона отримала однорідну пористу структуру.

Чарунки в бетонній суміші утворюються при виділенні газу під час хімічної реакції всередині суміші, яка знаходиться в рідкому чи пластичному стані, або шляхом додавання до неї при перемішуванні в бетонозмішувачі раніш приготовленої стабільної піни, або введенням повітря механічним способом. При цьому необхідно визначити речовини для утворення газу і отримання піни і добавки для регулювання термінів тужавлення.

Суміш заливають в сталеві форми; після случування і тужавлення, отриманий масив розрізають на вироби потрібних розмірів (плити чи блоки). Обробка паром високого тиску обов'язкова, якщо ніздрюватий бетон виготовляється з оптимальним рівнем міцності і усадки.

Арматура повинна бути захищеною від корозії до заливки суміші в форми. Після запарювання вироби можна фрезерувати і на їх поверхню наносити оздоблення індустріальним способом.

Для заливки, різки і запарювання матеріалу потрібне спеціальне механічне обладнання, яке включає форми, різальні машини, автоклави і т.і. В цехах слід підтримувати постійні температурні і вологісні умови, постійно контролювати їх.

Нижче наведено перелік матеріалів, які застосовують для виробництва ніздрюватих бетонів:

- в'яжучі: портландцемент згідно вимогам ДСТУ БВ.2.7-46-96 (ГОСТ 10178) (не повинен вміщувати добавки трепела, глієжа, трасів, опоки), вміщуючий трикальцієвий алюмінат (C_3A) не більше 6 %;

- Вапно негашене кальцієве — згідно ДСТУ БВ.2.7-90-99, що має швидкість гашення 5...25 хв та вміщує активні $CaO + MgO$ більше 70%.

- Шлак доменний гранульований згідно ДСТУ Б В.2.7-302:2014 Шлак доменний гранульований для цементів, бетонів і будівельних розчинів. Технічні умови та оцінка відповідності (EN 15167-1:2006, NEQ)

- Зола високоосновна, що вміщує CaO не менше 40 %, в т.ч. вільний CaO не менше 16%, SO_3 не більше 6% та R_2O не більше 3,5%.

- кремнеземисті компоненти:

- пісок – згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови, що вміщує SiO_2 не менше 90% або кварцу не менше 75%, слюди не більше 0,5%, мулистих та глинистих включень не більше 3%.

- Зола – винос ТЕС – що вміщує SiO_2 не менше 45%, CaO не більше 10 %, R_2O – не більше 3%, SO_3 не більше 3%.

- пороутворювачі: газоутворювач — алюмінієва пудра марок ПАП– 1 та ПАП – 2 згідно ГОСТ 5494-95 Пудра алюминиевая. Технические условия (Пудра алюмінієва. Технічні умови).

- піноутворювач на основі клеїв — згідно ГОСТ 2067-93 Клей костный. Технические условия; соснової каніфолі — згідно ГОСТ 19113; їдконого технічного натра — згідно ГОСТ 2263, складних солей первинних жирних спиртів ПО-6, «Піностром», протеїновий піноутворювач «Неопор» та інші.

- регулятори структуроутворення, зростання пластичної міцності; прискорювачі тверднення та пластифікуючі добавки:

- камінь гіпсовий та гіпсоангідритовий — згідно ГОСТ 4013;

- калій вуглекислий — згідно ГОСТ 4221;

- кальцінована технічна сода — згідно ГОСТ 5100;

- скло рідке натрієве згідно ГОСТ 13078;

- триетаноламін — згідно ТУ 6-09-2448;

- тринатрійфосфат — згідно ГОСТ 201;

- суперпластифікатор С-3 — згідно ТУ 6-14-625;

- натр їдкий технічний — згідно ГОСТ 2263;

- карбоксилметилцелюлоза — згідно ОСТ 6-05-386 та інші добавки.

- вода для приготування бетонної суміші згідно ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Бетони. Правила підбору складу.

— арматурна сталь повинна мати заводський сертифікат з зазначенням марки сталі.

— захисні покриття. Для захисту арматури від корозії в більшості випадків застосовують цементно-казеїнову суміш. Її готують з цементу, казеїнового клею (або казеїну) та води.

Захист і опорядження поверхні виробів з ніздрюватого бетону виконують цементними фарбами, бітумополімерними та кремнійорганічними складами.

§ 34. Виробництво ніздрюватобетонних виробів

Виготовлення ніздрюватобетонних виробів (рис. 34.1.) складається з наступних технологічних процесів: підготовки матеріалів, приготування суміші, формування масивів, спучування маси та витримання масивів до різки, розрізання масивів на вироби, тепловологісної обробки в автоклавах чи пропарювальних камерах, розпалубки, пакування та складування.

Особливістю, характерною для сучасної технології ніздрюватобетонних виробів є використання високодисперсної суміші вапна, піска та цементу. Помел кремнеземистого компонента дозволяє суттєво скоротити витрати в'язучого при автоклавній обробці виробів. Ще більш перспективно замінити частину кварцового піску тонкодисперсними кремнеземвмісними відходами феросплавного виробництва. В залежності від способу формування масиви (сирець) з газобетону виготовляють за литьовою, вібраційною або ударною технологіями, а залежно від способу одержання готових виробів технологію поділяють на різальну з переносом або кантуванням масиву та виготовлення виробів у індивідуальних формах.

Литтьова технологія передбачає використання формувальної суміші, яка містить 50...60% води (водотверде відношення $V/T=0,5...0,6$). З цією метою попередньо готують водно-алюмінієву суспензію й (у разі потреби) у кульовому млині розмелюють кремнеземистий компонент (рис. 34.2.). Помел кремнеземистого компонента сприяє переведенню хімічно інертного кремнезема в активну форму, що дозволяє скоротити розрахункову кількість в'язучого при автоклавному твердненні. Хімічна взаємодія CaO та SiO_2 в автоклаві призводить до утворення гідросилікатів кальція, які забезпечують високу міцність та довговічність газобетонних виробів.

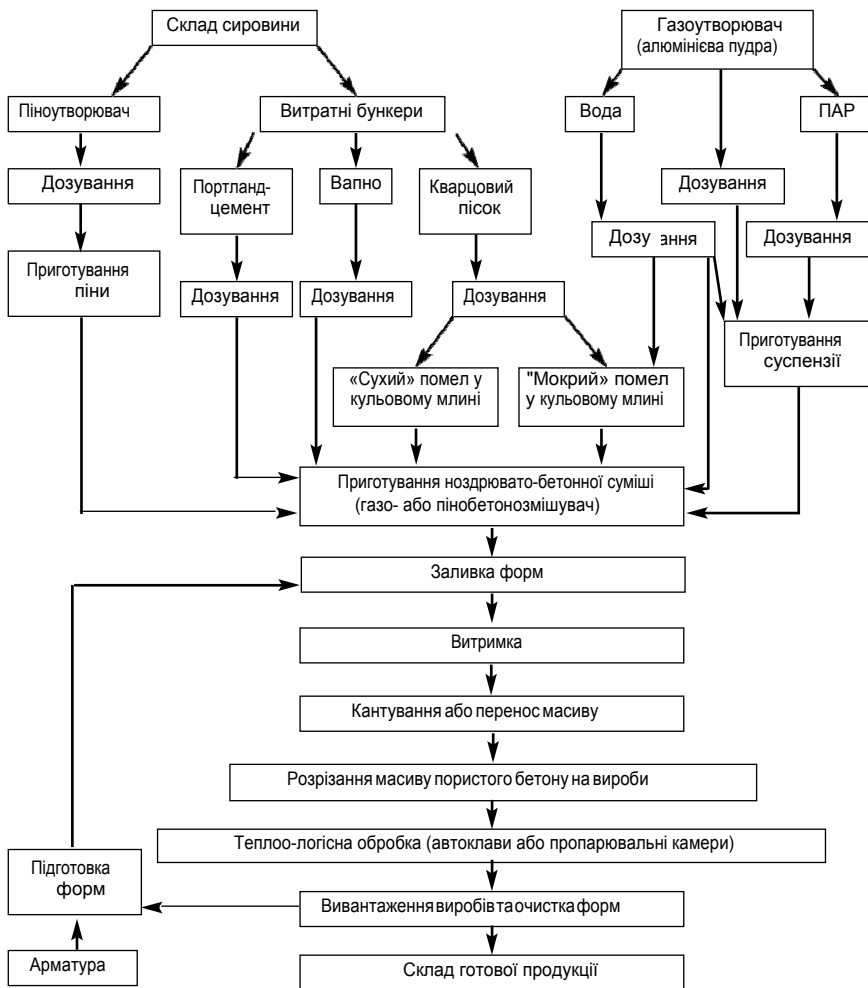


Рис. 34.1. Технологічна схема виробництва виробів з газобетону та пінобетону

При збільшенні дисперсності піска від $1500 \text{ см}^2/\text{г}$ до $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ міцність ніздрювато бетону лінійно зростає до певної межі, потім це зростання значно уповільнюється, після чого починає падати. Крім того процес помелу кремнеземистого компонента є дуже енерговитратним, тому помел виконують, як правило, мокрим способом, подаючи у млин гарячу воду або пару.

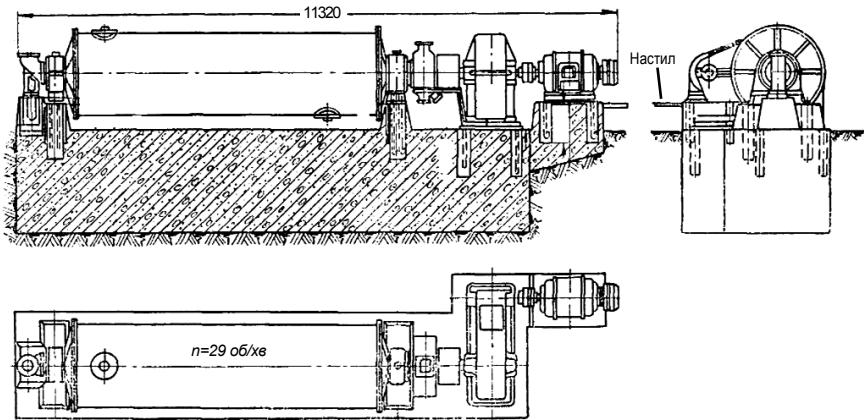


Рис. 34.2. Кульовий двокамерний млин

Значно скоротити енерговитрати при помелі кремнеземистого компонента дозволяє введення в суміш високоактивних кремнеземвмісних відходів феросплавного виробництва.

Одержаний шлам із температурою 35...45 °С надходить у басейн, де його витримують 4...5 год при безперервному перемішуванні. Остаточно газобетонну суміш готують у пересувному газобетонозмішувачі, куди спочатку завантажують піщаний шлам, а у разі потреби — немелений пісок, потім додають необхідну кількість підігрітої води, якої не вистачає до розрахункової, і нарешті — в'язучу речовину. Після 3...4 хв перемішування у змішувач вводять водно-алюмінієву суспензію, і суміш додатково перемішують протягом 2 хв.

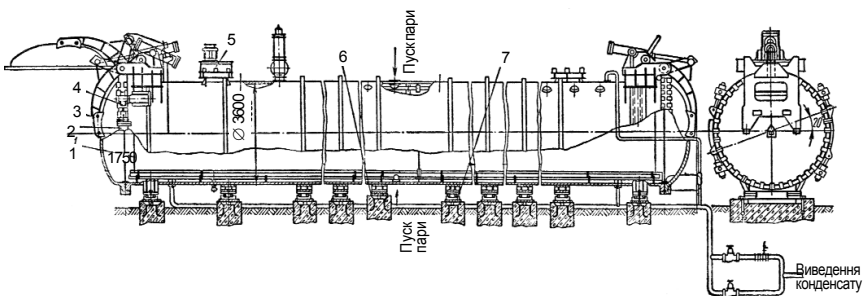


Рис. 34.3. Загальний вигляд автоклава АП—3,6X27:

1 — корпус; 2—байонетне кільце; 3— механізм піднімання кришки; 4 — механізм поворота байонетного кільця; 5 — гідропривід; 6 —стаціонарна (нерухома) опора; 7 — рухлива опора

Далі суміш заливають у металеві форми з таким розрахунком, щоб після спучування суміші форма була заповнена вщерть. Через 3...6 год, коли бетонна суміш досягає пластичної міцності 0,015...0,03 МПа, надлишок суміші («окраєць») зрізують туго натягнутими струнами або спеціальним пристроєм. Зрізаний «окраєць» перемішують з водою в спеціальному змішувачі й перекачують у шламовий басейн для повторного використання.

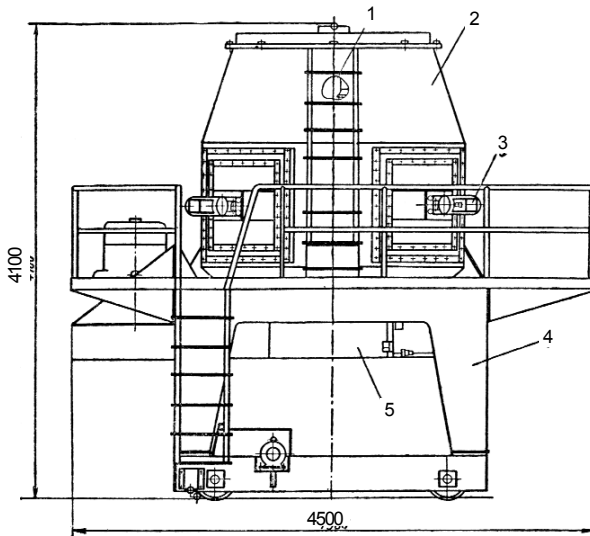
Відформовані вироби надходять на тепловологу обробку, яку виконують переважно в автоклавах (рис. 34.3.) у середовищі насиченої водяної пари при температурі 175...200 °С і тиску 0,8...1,3 МПа. В цих умовах відбувається взаємодія кремнеземистого компонента з гідроксидом кальцію, внаслідок чого утворюються гідросилікати кальцію, які надають готовим бетонним виробам потрібної міцності та морозостійкості. Якщо в'язучою речовиною є портландцемент, то можливе пропарювання відформованих виробів при атмосферному тиску й температурі пари 80...100 °С. Проте вироби, що отримують при цьому, поступаються автоклавним за міцністю, морозота тріщиностійкістю.

До недоліків литтвової технології необхідно віднести:

- високе водотверде відношення (В/Т);
- довготривалий процес структуроутворення на постах витримки;
- збільшення часу тепловологої обробки для видалення надлишкової кількості води;
- неоптимальну (неоднорідну) пористу структуру газобетону із зниженими міцнісними характеристиками.

Вібраційна технологія застосовується на багатьох українських підприємствах і її особливість полягає в тому, що вироби отримують на основі високов'язких ніздрюватобетонних сумішей, що виготовляють у віброгазобетонозмішувачах із низьким водотвердим відношенням (В/Т=0,3...0,4).

Більшість підприємств України по виробництву виробів із автоклавних бетонів працюють за агрегатно-потоковою схемою в якій використовуються прогресивна вібраційна (або віброударна) технологія. Порівняно з литтвовою вібраційна технологія дозволяє скоротити цикл виготовлення та покращити якість виробів при значному підвищенні техніко-економічних показників виробництва. Технологічна лінія носить назву «Універсал-60» та включає в себе віброгазобетонозмішувач СМС-40Б, віброплощадку СМС-71, спеціальний захват для переноса масива, установку для розрізання масива з комплектом автоклавних решіток, форми, мостові крани, електропередаточні мости та автоклави. Лінія складається з двох частин: формовочної на якій виробляються пористобетонні вироби та підготовчої, де виконуються операції по очищенню, змазуванню та збиранню форм та установці в них (при необхідності) арматурних каркасів.



*Рис. 34.4. Загальний вигляд газобетонозмішувача СМС-40Б:
 1 — вертикальний вал з лопастями; 2 — корпус; 3 — вібратор;
 4 — самопересувний портал; 5 — гаситель струменя*

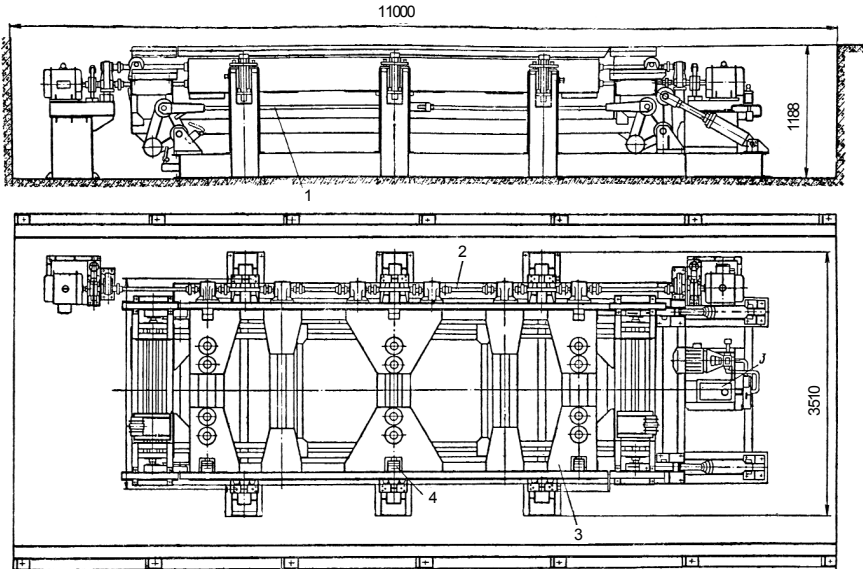
Віброгазобетонозмішувач СМС-40Б (рис. 34.4.) використовується для інтенсивного перемішування газобетонної суміші, транспортування та завантаження її в форми. Він складається з циліндричноконічного корпусу, об'ємом 5 м^3 , вертикального вала з лопатями, вібропристрою та самохідного портала.

Вихідні компоненти завантажуються через люки в кришці в наступній послідовності: піщаний шлам, в'язучі (цемент, вапняно-піщане в'язуче), вода. Суміш інтенсивно перемішується на протязі 3...4 хвилин, після чого в змішувач подається суспензія алюмінієвої пудри з ПАР і перемішування триває ще близько 2 хвилин. Готова суміш вивантажується через 2 затвора шлангового типа у форми. Перед кожним затвором розташований гаситель струменя (для зменшення швидкості виливання суміші у форму).

Для інтенсифікації спучування газобетонної суміші в процесі формування використовують віброплощадку СМС-71 (рис. 34.5.) вантажопідйомністю 15 т з амплітудою коливань 0,4 мм. Вона складається з вібростола, вібросистеми, знижувача, гідросистеми та звукозахисних кожухів.

Віброплощадка працює наступним чином: підготовлена (почищена та змащена), форма подається на знижувач, опускається та затискується клинцями. Після включення вібросистеми в форму завантажуються ніздрюватобетонна суміш (заповнення приблизно

0,75...0,8 від висоти борту форми). По закінченню процесу формування вібростема виключається, рухливі клинці відходять, форма піднімається і мостовим краном подається на пост витримки.



*Рис. 34.5. Загальний вигляд віброплощадки СМС-71:
1 — знижувач; 2 — вібростема; 3 — гідросистема;
4 — клиновий затискувач; 5 — стіл*

Після набуття бетоном пластичної міцності 0,07...0,08 МПа борти форми розкривають. На масив пористого бетону (сирцю) за допомогою мостового крана опускають спеціальний захват. Захват складається з траверси, опорних та фіксуючих пристроїв (ричаги та борти), електричного та гідравлічного обладнання. При підйомі траверси борти за допомогою гідроциліндрів притискаються до масива та піднімають його, після чого транспортують до різальної установки.

Різальна установка призначена для розрізання відформованого масива в повздовжній та поперечній площинах (з регулюванням кроку різання). Вона складається з клавішного стола, на який заздалегідь встановлюють автоклавну решітку, механізмів повздовжнього та поперечного різання, механізму калібрування, лотків для збирання відходів калібрувки та зрізання горбушки, електричного та гідравлічного обладнання.

Масив пористого бетону подають на автоклавну решітку, після чого мостовий кран із захватом відїзжає. Масив калібрують, зрізають

горбушку, при цьому відходи за допомогою скребкового конвеєра повертають у шламбасейни. Після чого виконують повздовжнє та поперечне розрізання масиву. По закінченню поперечного розрізання масив на решітці за допомогою мостового крана переносять на автоклавний візок, а на стіл різальної установки встановлюють нову решітку.

Автоклавний візок з установленими на ньому решітками з розрізаними масивами за допомогою електропередаточного моста подають в автоклав для термовологісної обробки виробів.

В лінії передбачено використання автоклавів круглого перерізу горизонтального типу періодичної дії, прохідних і тупикових. Прохідний автоклав АП-3.6 x 27 м (рис. 34.3.), складається з корпусу, двох кришок, ущільнювача, двох механізмів підйома кришок, двох байонетних колець з механізмами поворота, нерухомої опори, рухомих опор, гідропривода, електричної частини з пультом управління.

Корпус автоклава — суцільнозварена судина з привареними по торцях спеціальними фланцями для прикріплення кришок. До зовнішньої поверхні корпусу приварені фланці для трубопроводів, арматури, контрольно-вимірювальної апаратури, а також кронштейни для механізмів відкриття кришок і поворота байонетних колець.

Кришка являє собою сферичне днище до якого приварено фланець з зубцями, призначеними для зчеплення з зубцями байонетного кільця. Корпус автоклава установлений на десяти опорах, в тому числі одній нерухомій, що розташована в середній частині корпусу, та дев'яти рухливих.

Після завантаження автоклава візками, на яких установлені решітки з виробами, включаються гідроприводи механізму підйому кришки. Після повного закриття кришки повертається байонетне кільце і в автоклав подається пара, після закінчення цикла запарки, випуска пари та конденсата байонетне кільце повертається і кришка автоклава піднімається. Автоклав готовий до наступного цикла запарки.

На всіх стадіях технологічного процесу (приготування, укладання у форми та формування) бетонні суміші підлягають дії вібрації. При цьому відбувається їхнє тиксотропне розрідження, внаслідок чого знижуються в'язкість і пластична міцність. Змінюючи параметри вібрації (частоту, амплітуду, тривалість) можна керувати реологічними властивостями сумішей та впливати на формування структури ніздрюватих бетонів.

В загальному випадку оптимальні параметри вібрації визначаються середньою густиною бетону, який потрібно отримати: при густині 700 кг/м^3 амплітуда коливань становить $0,3...0,4 \text{ мм}$ при

частоті 45...50 Гц; при густині менше 500 кг/м³ амплітуду знижують до 0,2 мм, а частоту підвищують до 100 Гц.

Із закінченням вібрування в'язкість і пластична міцність сумішей швидко відновлюються. Завдяки застосуванню вібраційної технології вдається значно скоротити тривалість витримування бетону перед гідротермальною обробкою, знизити його вологість після автоклавної обробки на 20% і більше, поліпшити властивості готових виробів, в тому числі підвищити міцність, збільшити морозостійкість, знизити деформації усадки. При цьому також скорочується цикл виготовлення виробів, зменшуються витрати в'язучої речовини та металомісткість форм, більш раціонально використовуються виробничі площі.

Вібраційна технологія дає змогу формувати великі масиви (об'ємом до 12 м³ і заввишки до 2 м) з наступним розрізанням їх на вироби потрібної товщини. Це збільшує коефіцієнт завантаження автоклавів та знижує собівартість готової продукції.

Використання ударної дії при формуванні ніздрюватих бетонів є новим напрямом подальшого розвитку вібраційного формування сумішей з невеликою кількістю води замішування.

Ударна технологія базується на застосуванні удару як циклічного динамічного навантаження на бетонну суміш під час її спучування. Відомо, що міцність міжпорових перегородок зростає при зменшенні об'єму води замішування (іншими словами, при зменшенні водотвердого відношення В/Т). Воду замішування, що входить до складу газобетонної суміші можна поділити на хімічно зв'язану (вода, що необхідна для гідратації в'язучого), фізично зв'язану (вода, що адсорбована твердими компонентами) та вільну не зв'язану воду. Остання і впливає на в'язкість суміші.

Використання ударної технології дозволяє досягнути значного розрідження бетонної суміші за рахунок руйнування слабких коагуляційних структур та переведу частково адсорбованої води у вільний стан.

Крім того ударна технологія дає можливість скоротити кількість пор малого діаметра (0,01...0,1 мкм). Ці пори негативно впливають на міцність та довговічність газобетону. Вільна вода в порах малого діаметра при замерзанні не знаходить компенсаційного простору і руйнує матеріал. Таким чином, використання ударної технології дозволяє отримати оптимальну порову структуру газобетону і в кілька раз збільшити його морозостійкість.

При всіх способах формування доцільно використовувати змішане в'язуче на основі портландцементу і вапна. Це дозволяє зменшити негативний вплив низької якості та неоднорідності вапна та зменшити водопотребу суміші.

Портландцемент підвищує довговічність виробів, так як при виникненні дефектів в міжпорових перегородках при багаторазовому заморожуванні та відтаванні відбувається «самозаліковування» структури продуктами гідратації цементу, що дозволяє уникнути падінь міцності.

При використанні ударної технології вплив цементу на міцнісні характеристики ніздрюватого бетону несуттєвий і введення його в суміш пов'язане, в основному, з необхідністю компенсації низької якості вапна, а також зменшення терміну визрівання сирцю ніздрюватого бетону. Використання ударної технології при формуванні ніздрюватобетонних виробів дає можливість скоротити порівняно з вібраційною технологією витрати цементу на 30%, вапна та газотворювача на 10...15%, зменшити тривалість набору пластичної міцності до 1...1,5 год, а також підвищити однорідність виробів та покращити деякі показники міцності (при згині та при розтягненні).

Лінії «Універсал-60» при зазначених перевагах мають декілька суттєвих вад:

- неможливість отримання виробів з точними геометричними розмірами (± 1 мм на довжину виробу), що унеможливорює виконання кладки з блоків на клею;

- застосування важкого підйомно-транспортного обладнання (мостових кранів), необхідність монтажу колон, підкранових балок і тощо.

- перенесення масиву сирцю газобетону захватами з постів витримки на різальну установку (додаткові заходи по техніці безпеки).

Тому при будівництві нових заводів та реконструкції діючих передбачається комплектація їх новим сучасним обладнанням, яке дозволяє уникнути зазначених недоліків. Це обладнання німецьких фірм Верхан, (Wehrhahn), Хьоттен (Hotten), Маса (Masa International group), Кселла (Xella International GmbH) та естонської Аерок (Aeroc). Характерною особливістю технологічних ліній зазначених фірм є те, що розрізання масиву сирцю ніздрюватого бетону здійснюється короткою струною, що дає можливість отримати вироби з точними геометричними розмірами. Для цього масив сирцю кантують (перевертають) на ребро. В технології фірми Хьоттен передбачено однократне кантування масиву сирцю на борт форми, яка після цього виконує роль піддона і з розрізаним на вироби масивом подається в автоклав.

Різальна установка обладнана спеціальним трімером, який дає можливість утворити «паз-гребінь» на торцях блоків розрізаного масиву. Після автоклавування відбувається розділення пропареного масиву на вироби на спеціальній установці. В технологічній лінії

Верхан кантування масива здійснюється двічі: спочатку для розрізання на ребро, а після розрізання масив повертається в те положення в якому здійснювалося формування (це дає можливість підвищити коефіцієнт заповнення автоклава див рис. 34.6.).

Всі зазначені лінії мають високий ступінь автоматизації та комп'ютеризації, що дозволяє суттєво скоротити кількість працюючих, а відсутність мостових кранів значно здешевлює лінії та робить їх безпечнішими.

Практично всі імпорتنі лінії дають можливість здійснити випуск повного комплексу виробів для. На рис. 34.7. та у таблицях 34.1. — 34.6. наведені дані щодо продукції фірми Кселла, яка випускається по технології YTONG / Rebel.

Таблиця 34.1.

Технічні характеристики дрібного гладкого блока Ітонг W

Найменування	Од. виміру	PPW2		PPW4		PPW6	
Середнє значення міцності при стисканні	МПа	≥2,5		≥5,0		≥7,5	
Основний коефіцієнт G_0 додаткової напруги при стисканні згідно DIN 1053-1:1966-11, табл. 4в	МПа	0,6		1,0*	1,1	1,5	
Густина	кг/м ³	350	400	500	550	600	650
Коефіцієнт теплопровідності λ_R	Вт/мК	0,09	0,1	0,12 0,13	0,14	0,16	0,16 0,18
Розрахунковий коефіцієнт власного навантаження на кладку	кН/м ³	4,5	5	6	6,5	7	7,5

* згідно загальному будівельному допуску Z-17.1-543

Таблиця 34.2.

Технічні характеристики гладких конструкційних панелей Ітонг

Найменування	Од. виміру	PPpl/панелі
Густина	кг/м ³	500
Межа міцності на розтяг при вигині	МПа	≥0,4
Розрахунковий коефіцієнт власного навантаження на кладку	кН/м ³	6

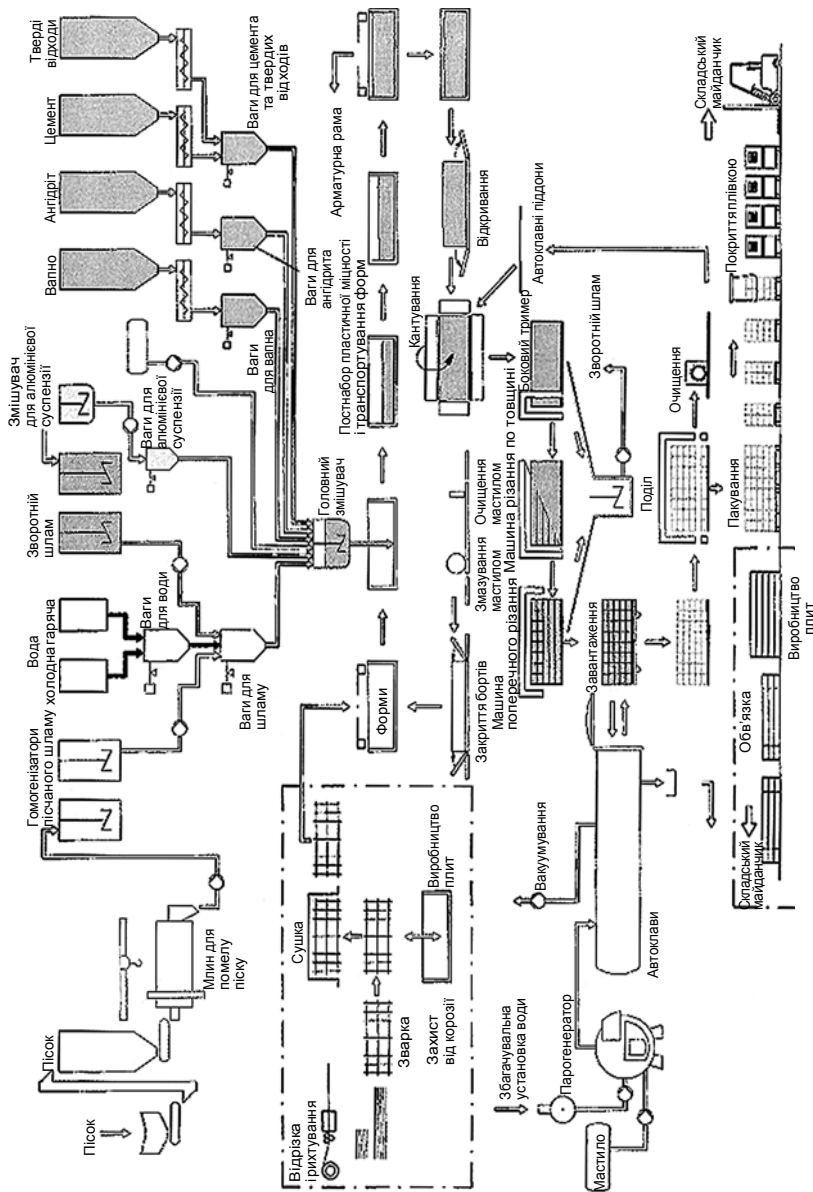


Рис. 34.6. Технологічна схема виробництва блоків "Верхан"

Таблиця 34.3.

Технічні характеристики панелей перекриття та покриття W Ітонг

Найменування	Од. виміру	P 4.4
Середнє значення міцності при стисканні	МПа	≥5,0
Густина	кг/м ³	550
Коефіцієнт теплопровідності λ _R	Вт/мК	0,14
Розрахунковий коефіцієнт власного навантаження, який включає армування, заливку швів згідно допуску Z-17.1-28	кН/м ³	6,7

Таблиця 34.4.

Технічні характеристики гладких елементів Ітонг Джумбо W

Найменування	Од. виміру	PPEW2		PPEW4		PPEW6	
Середнє значення міцності при стисканні	МПа	≥2,5		≥5,0		≥7,5	
Основний коефіцієнт G ₀ додаткової напруги при стисканні згідно допуску Z-17.1-484	МПа	0,6		1,0*	1,1	1,5	
Густина	кг/м ³	350	400	500	550	600	650
Коефіцієнт теплопровідності λ _R	Вт/мК	0,09	0,1	0,12 0,13	0,14	0,16	0,16 0,18
Розрахунковий коефіцієнт власного навантаження на кладку	кН/м ³	4,5	5	6	6,5	7	7,5

Таблиця 34.5.

Технічні характеристики вертикального системного стінового елемента Ітонг W

Найменування	Од. виміру	PPSW2	PPSW4	
Середнє значення міцності при стисканні	МПа	≥2,5	≥5,0	
Основний коефіцієнт G ₀ додаткової напруги при стисканні згідно допуску Z-17.1-28	МПа	0,5	0,9	
Густина	кг/м ³	400	600	700
Коефіцієнт теплопровідності λ _R	Вт/мК	0,1	0,16	0,18
Розрахунковий коефіцієнт власного навантаження на кладку	кН/м ³	5	7	8

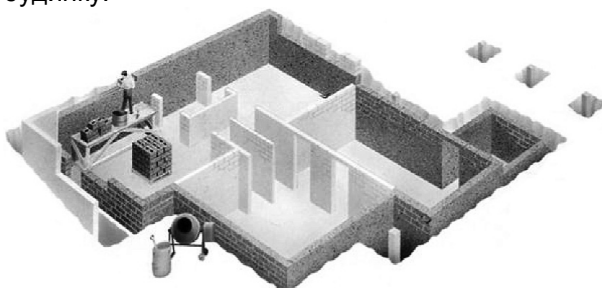
§ 35. Технологія зведення малоповерхового житла з ніздрюватобетонних виробів

Перелік матеріалів для виробництва.

■ 1. Підвал та цоколь — збірний або монолітний варіант, з використанням бетонних блоків стін підвалу, або важкого чи легкого бетону, повнотілої керамічної цегли.

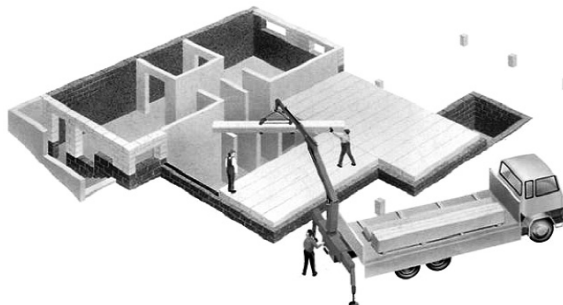
■ Обов'язкові умови: виконання дренажу та зовнішньої гідроізоляції стін та підлоги підвалу. Внутрішні перегородки виконують із ніздрюватобетонних блоків.

На рисунках 35.1 — 35.5 наведено послідовність зведення будинку.



1. Зведення підвала та цоколя. Влаштування зовнішньої гідроізоляції. Виконання внутрішніх перегородок з ніздрюватобетону.

Рис. 35.1. Зведення підвала та цоколю

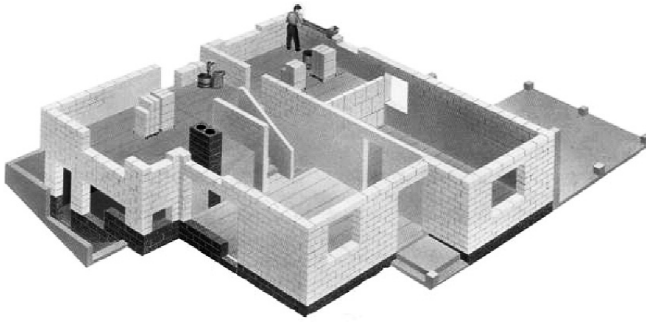


2. Підвал перекривають ніздрюватобетонними плитами, з пазогребневими продольними торцями. Герметичність стиків забезпечують застосуванням пористих еластичних прокладок на липкій основі. Після монтажу зовнішні пори стиків шпаклюють високоадгезійним розчином.

Рис. 35.2. Перекриття підвала

■ 2. Огороджуючі стіни виконують з дрібних ніздрюватобетонних блоків середньою густиною $500...600 \text{ кг/м}^3$, міцністю 3,5 – 4 МПа, розмірами 200 x 300 x 600 мм.

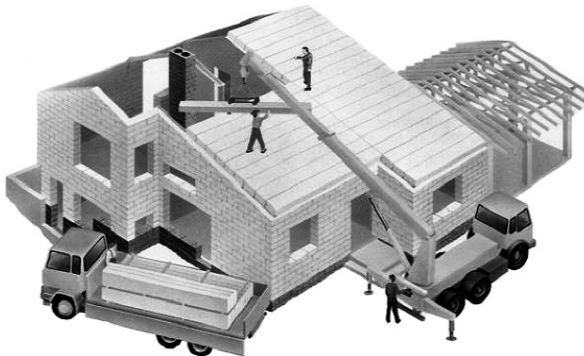
■ 3. Покрівля та перекриття — армовані ніздрюватобетонні плити середньою густиною $600...7000 \text{ кг/м}^3$, міцністю 4...5 МПа, розмірами 300 x 600 x 4200 мм. Покрівельний шар — керамічна або металева черепиця.



3. Мурування стін здійснюють на клею з блоків з пазогребневими торцями. Зовнішня поверхня стін може бути оздоблена декоративним паропроникним покриттям (або фарбою).

Стіни можуть складатися з двох рядів блоків при цьому коефіцієнт термічного опору може сягати $4 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$

Рис. 35.3. Монтаж стін



4. Покриття монтують з ніздрюватобетонних плит з використанням пористих еластичних прокладок. Стики шпаклюють високоадгезійним розчином. На плити укладають гідроізоляційний шар та покривають черепицею.

Рис. 35.4. Улаштування покриття



Рис. 35.5. Готовий будинок

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Дайте визначення ніздрювату бетону.
2. На які класи залежно від густини поділяють ніздрюватий бетон?
3. Які вимоги мають задовольняти газоутворювачі?
4. Опишіть технологічні схеми виробництва пінобетонних виробів.
5. Як структура пор впливає на властивості ніздрювату бетону?
6. Які марки по морозостійкості встановлено для пористих бетонів?
7. Від чого залежить теплопровідність пористих бетонів?
8. Як підвищена концентрація двоокису вуглецю в повітрі впливає на якісні показники ніздрюватих бетонів?
9. Опишіть процес підготовки сировинних компонентів у виробництві газобетону.
10. З якою метою газобетонну суміш після заливання у форму піддають вібруванню?
11. Які процеси відбуваються в масиві сирця на посту витримки?
12. Охарактеризуйте литтвову, вібраційну та ударну технологію. Визначте переваги та недоліки кожної.
13. Які переваги має ніздрюватий бетон автоклавного тверднення над неавтоклавним бетоном?
14. Які відмінності мають закордонні технології виробництва ніздрюватих бетонів порівняно з «Універсалом-60»?

Рекомендована навчально-методична література

1. Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. Сборник научных трудов. Вып. 1 — Днепропетровск: ПГАСА, 2005. — 306 с.
2. Захарченко П.В., Большаков В.И., Мартыненко В.А., Червяков Ю.Н. Развитие производства изделий из ячеистого бетона в Украине. — Строительные материалы и изделия. — № 1 (29), 2005. — с. 22-27.
3. Большаков В.И., Мартыненко В.А., Ястребцов В.В. Производство изделий из ячеистого бетона по резательной технологии. — Монография. — Днепропетровск: «Пороги», 2003. — 142 с.
4. Есипович И.М. Оборудование для производства изделий из ячеистых бетонов. — ЦНИИТЭСТРОЙМАШ, Москва, 1998. — 40 с.
5. Автоклавный ячеистый бетон. Под ред. Макаричева В.В., Москва: Стройиздат, 1981. — 88 с.
6. Захарченко П.В., Драгомирецкая Л.А. Утилизация отходов производства ферросилиция в ячеистых бетонах. — Научно-технический реферативный сборник, ВНИИЭСМ, Москва, 1985. — 20 с.
7. ДСТУ БВ.2.7-45-96 Бетони ніздрюваті. Технічні умови.
8. Xella International GmbH. Изготовление. Свойства и применение газобетона марки Итонг (Хебель), 2006. — 24 с
9. WENRHANN Общая информация о изготовлении блоков и элементов из ячеистого (автоклавного) газобетона. Delmenhorst/Germany, 2005. — 30 с.
10. Hotten. Технологическая линия для производства ячеистого бетона, 2006. — 13 с.

РОЗДІЛ VIII. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ВИРОБИ З ДЕРЕВИНИ

Позитивні властивості деревини як будівельного матеріалу зумовлюють величезну потребу у крупногабаритних листових виробих. Отримання їх з цілісного стовбура дерева обмежено двома суттєвими факторами:

- по-перше, це діаметр стовбура;
- по-друге, деревина по різному набрякає в повздовжньому та поперечному напрямку відносно розташування волокон, а це в свою чергу впливає на її жорсткість в різних напрямках.

Це привело до розробки плит з деревовміщуючих матеріалів з великими габаритами, наділених такими ж самими міцнісними властивостями та здатністю набирати потрібної форми при обробці, як і деревина. Ці матеріали переважно складаються зі здрібнених часточок дерева, а також стружок та інших деревних відходів із додаванням в'язучих речовин та спресованих у плиту.

Розрізняють насамперед:

- деревиноволокнисті плити;
- деревиностружкові плити;
- фанеру.

§36. Деревиноволокнисті плити

Деревиноволокнистими плитами (ДВП) називають великорозмірні листові вироби, які отримують з неділової деревини або деревних відходів шляхом подрібнення їх до трісок і помелом з додаванням синтетичних полімерів і спеціальних добавок, подальшим формуванням та тепловою обробкою в сушарках чи гарячих пресах. В залежності від густини деревиноволокнисті плити за ДСТУ EN 622-1:2006 поділяють на м'які (М), напівтверді (НПТ), тверді (Т) та надтверді (НДТ).

В будівництві ці вироби використовують для тепло- та звукоізоляції стін, стель, підлог, міжповерхових перекриттів. Інколи їх застосовують як оздоблювальний елемент стін та стель.

Основними властивостями, за якими поділяють деревиноволокнисті плити є: густина, межа міцності при вигині та коефіцієнт теплопровідності (таблиця 36.1.)

В залежності від межі міцності при вигині м'які ДВП (М) поділяють на марки: М-4, М-12, М-20 з $R_{вуг}$ відповідно — 0,4; 1,2; 2,0 МПа; НПТ100 з $R_{вуг}$ 10 МПа; Т-350 та 400 з $R_{вуг}$ 35 та 40 МПа та НДТ-500 з $R_{вуг}$ — 50 МПа.

Таблиця 36.1.

Властивості деревноволокнистих плит

Параметри	Плити			
	м'які	напівтверді	тверді	надтверді
Густина, кг/м ³	< 150	> 400	> 850	> 950
Межа міцності при вигині, МПа	≥ 1,2	≥ 15	≥ 40	≥ 50
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/мК	0,06	0,12	0,18	0,24

Середня густина м'яких плит в залежності від марки знаходиться в межах від 150 до 350 кг/м³, напівтвердих та твердих — від 400 до 850 кг/м³ та надтвердих — 950 кг/м³. Згідно німецького стандарту DIN 68754 надтверді і тверді плити мають позначення HFH, напівтверді HFM та м'які HFD.

В залежності від марок ДВП випускають різних розмірів (таблиця 36.2.)

Таблиця 36.2.

Розміри деревноволокнистих плит, мм

Марка	Довжина	Ширина	Товщина
М-4, М-12	3000, 2700, 2500	1700, 1220	12, 16, 25
М-20	1800, 1600, 1200	1700, 1220	8, 12
НПТ-100	5500, 3600, 3000	2140, 1830	6, 8, 12
Т-300, Т-400	2700, 2500, 2350	1700, 1220	2,5; 3,2; 4
НДТ-500	2050, 1200	1700, 1220	5, 6

Відхилення від номінальних розмірів в залежності від марки плит допускаються в межах: по довжині та ширині ± 5 мм, по товщині від — 3 мм до + 1 мм. Німецький стандарт DIN 68754, частина 1 висуває більш жорсткі вимоги до товщини плит ± 0,4 мм для твердих плит та ± 0,7 мм для напівтвердих плит.

Плити легко піддаються механічній обробці, склеюванню та різноманітному декоративному оздобленню. Плити марок НДТ, Т, НПТ та відповідно HFH та HFM у всіх напрямках мають більш-менш однакові значення жорсткості і можуть використовуватися в якості несучої обшивки стінових конструкцій та елементів перекриття.

М'які плити складаються з переплетених волокон деревини, або інших лігноцелюлозних волокон, що створюють волокнисту повсть. Ці плити мають велику пористість і досить низькі тепло- та звукопровідність і не можуть нести навантаження, що обмежує область їх застосування тільки в якості теплоізоляційних або звукоізоляційних матеріалів.

Коливання вологості в приміщеннях, які оздоблені м'якими ДВП, в межах 10...12%, майже не приводить до зміни лінійних розмірів плит. Коефіцієнт температурного лінійного розширення м'яких плит також дуже невисокий, тому зміни розмірів плит при нагріванні незначні.

Коефіцієнт паропроникності для м'яких плит складає 0,046...0,066 кг/(м·с·Н/м²), для напівтвердих 0,014 кг/(м·с·Н/м²).

В таблиці 36.3. наведені вимоги німецького стандарту DIN 68754 до будівельно-фізичних властивостей деревиноволокнистих плит.

Таблиця 36.3.

Будівельно-фізичні властивості деревиноволокнистих плит

Властивість	Одиниця виміру	Тип плит		
		тверді	напівтверді	м'які
Максимальне набрякання за товщиною через 24 години витримування під водою, DIN 68 754	%	20 ¹⁾ 18 ²⁾	15 ³⁾	—
Величина усадки/набрякання Довжина/Ширина 20 °С, відносна вологість повітря 30% → 20 °С, відносна вологість повітря 90%	%	0,15	0,15	—
Опір дифузії водяної пари μ DIN 4108, частина 4	—	70	—	5
Теплопровідність Розрахункове значення аналогічне до DIN 4108, частина 4	Вт/мК	0,17	—	0,070 ⁴⁾ 0,060 ⁵⁾ 0,045 ⁶⁾
¹⁾ товщина плит ≤ 4 мм ²⁾ товщина плит > 4 мм ³⁾ товщина плит 5 – 16 мм ⁴⁾ густина матеріалу ≤ 400 кг/м ³ ⁵⁾ густина матеріалу ≤ 300 кг/м ³ ⁶⁾ густина матеріалу ≤ 200 кг/м ³				

36.1. Сировинні матеріали

Сировиною для виготовлення деревиноволокнистих плит є неділова деревина хвойних та листяних порід з обмеженням гнилі не більше 5% та кори не більше 15%, а також відходи, що утворюються при заготівлі лісу, лісопилянні, деревообробці, відходи целюлозно-паперової промисловості (сучкова маса, макулатура та інші види волокнистих відходів, які не можна використати для виробництва паперу), а також комиш, солома, костриця та стебла інших однорічних рослин що мають волокна.

Головною вимогою, яка висувається до сировини, є можливість отримання з нього довгого волокна. Довжина волокон хвойних деревних порід (сосни, ялиці, модрина) складає 2,5...4,5 м, що значно більше ніж у листяних (берези, осики, тополі) від 0,7 до 1,6 м.

Кондиційні технологічні тріски (згідно ГОСТу 15815) повинні задовольняти наступні вимоги: довжина трісок 25 мм (від 10 до 35 мм), товщина до 5 мм, кут зрізу — 30...60 градусів. Засміченість трісок: корою до 15%, гниллю до 5%, мінеральними домішками до 1%, не допускається наявність обвуглених часток. Суміш порід деревини повинна включати не менше 70% хвойних порід та не більше 30% листяних.

Підрахунок технологічних трісок, що поступають у виробництво, ведуть в кубічних метрах щільної маси з точністю до 0,1 м³ (коефіцієнт перерахунку насипного обсягу трісок до щільної маси складає приблизно 0,4).

36.2. Виробництво деревноволокнистих плит

Деревноволокнисті плити виробляють на неперервних потокових лініях. На лініях непересованих плит виробляють м'які плити, на лініях пресованих плит – напівтверді, тверді та надтверді.

Технологічний процес виробництва м'яких деревноволокнистих плит (рис. 36.1.) складається з операцій підготовки та помелу трісок, проклеювання маси, формування, сушки та розкрою плит.

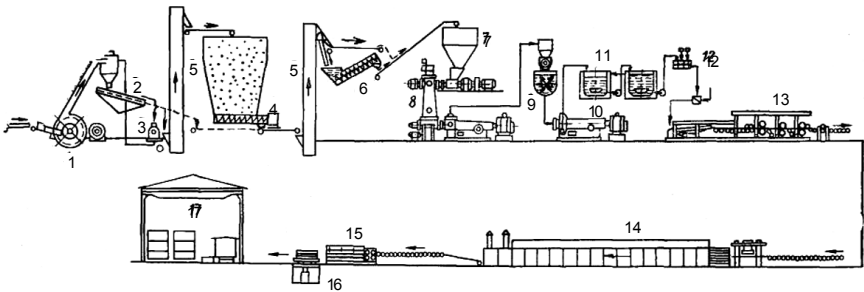


Рис. 36.1. Технологічна схема виробництва м'яких деревноволокнистих плит: 1 — рубильна машина; 2 — трісосортувальна установка; 3 — дезінтегратор; 4 — бункер трісок з шнековим дозатором; 5 — ківшовий елеватор; 6 — установка для мийки трісок; 7 — бункер трісок; 8 — дефібратор; 9 — басейн дефібраторної маси; 10 — рафінатор; 11 — басейн рафінаторної маси; 12 — установка неперервного проклеювання з дозаторами гідрофобної емульсії та розчину осаджувача; 13 — відливальна машина; 14 — роликова сушарка; 15 — форматний станок; 16 — гідравлічний підйомник; 17 — склад готової продукції

Застосовується переважно мокрий спосіб виготовлення. При цьому отриманий волокнистий матеріал змішується з водою та доданими до неї в'язучими речовинами та наповнювачами для одержання кашоподібної маси й залежно від бажаного типу та якості плит здрібнюється більшою чи меншою мірою. Після додаткового розведення водою з отриманої суміші речовин на сітковому транспортері, який безупинно рухається вперед, утворюється нескінченне волокнисте полотно (мат) із заданою масою одиниці поверхні та товщиною. Додаткові покривні шари наносяться безпосередньо на цю вологу масу. Вода, що міститься в масі, відділяється частково під дією сили тяжіння, частково під дією тиску пресувальних вальців, після чого готовий до транспортування волокнистий мат розділяється на відрізки потрібної довжини.

Тільки під час подальшої обробки окремі типи плит набувають різних властивостей. Тверді деревиноволокнисті плити з більш високою густиною одночасно ущільнюються і тверднуть у нагрівальних пресах, пористі волокнисті плити лише висушуються.

Іншими способами виготовлення є напівсухе та сухе пресування. При цьому волокна, змочені в'язучою речовиною, висушуються за допомогою спеціального завантажувального розподільного та пресуючого пристрою.

36.2.1. Підготовка сировини

Підготовка сировини заключається в приготуванні кондиційних трісок і включає наступні операції:

- обдирання кори (корообдиральні барабани, водоструменеві або ножові верстати);
- розпилювання (балансирні, ланцюгові або маятникові верстати);
- подрібнення підготовленої деревини у тріски (багатоножові, рубильні машини);
- сортування трісок (трікосортувальні установки);
- вилучення металевих предметів (магнітні сепаратори);
- миття трісок (установка для мийки);
- зберігання запасу трісок (бункера).

36.2.2. Підготовка деревиноволокнистої маси

За допомогою дефібраторного або рафінаторного помелу деревини отримують волокнисту масу, яка повинна віддавати воду з шару товщиною 70...80 мм і в той же час утворювати міцне полотно. Для забезпечення умов транспортування в волокнисту масу додається 3% води.

Отриману масу піддають додатковому помелу у рафінаторах чи голендерах для повного подрібнення нерозмелених пучків волокон та трісок. Ця операція особливо важлива для виробництва м'яких плит, міцнісні характеристики яких залежать від якості отриманої повсті та характеру переплетення волокон.

Підготовлені волокна направляють у спеціальний басейн, де вони набрякають, гідратуються й при вторинному помелі менше піддаються усадці.

36.2.3. Проклеювання деревиноволокнистої маси

Для підвищення міцності та водостійкості плит отриману волокнисту масу проклеюють природними оліями, що легко окислюються (конопляною, льняною) або синтетичними смолами (фенолформальдегідними, фенолальдегідними), а також каніфольно-парафіновими емульсіями, парафіновими емульсіями з сульфітно-спиртовою бардою та іншими. Покращенню процесу осадження емульсії на волокна сприяє застосування сірчанокислого алюмінію (глинозему) в обсягах 1...2% від маси волокна. Проклеювання маси здійснюють в установці неперервного проклеювання при концентрації волокна 1,8...2% та температурі не більше 55 °С при рН 4...4,5.

36.3. Формування плит

Отримана після проклейки волокниста маса зневоднюється на відливальних машинах за рахунок вільної фільтрації води через сітку з послідовним вакуумуванням та пресуванням. Відносна вологість килиму, що виходить з відливної машини становить 60...65%. Наступною операцією є поздовжнє та поперечне розрізання килиму.

36.4. Сушка плит

М'які плити сушаться в камерах періодичної та неперервної дії на роликівих конвеєрах. Вологість висушених плит не повинна перевищувати 3%, що запобігає самозайманню плит при зберіганні їх у стосах на складі.

Для виготовлення напівтвердих і твердих плит їх піддають гарячому пресуванню у спеціальних пресах при температурі 170 °С. При цьому лігнін, що залишився у волокнах, розм'якшується та міцно скріплює волокна за рахунок утворення смолеподібних продуктів на основі геміцелюлози.

Після пресування плити просочують у ванні гарячою олією (льняною, таловою) при температурі 110°С та піддають

загартуванню гарячим повітрям з температурою 170 °С у камерах витримки протягом 2...3 годин. Для унеможливлення жолоблення плити протягом 6...8 годин знаходяться у зволожувальних камерах, де відбувається процес сорбційного зволоження до рівноважної вологості плит 6...10%.

§ 37. Деревиностружкові плити

Деревиностружкова плита (ДСП) — листовий матеріал, що вироблений зі стружок, склеєних між собою синтетичними полімером.

В залежності від середньої густини деревиностружкові плити (ДСТУ EN 12369-1:2008) поділяють на легкі $\gamma \leq 500 \text{ кг/м}^3$, напівважкі $\gamma \leq 650 \text{ кг/м}^3$, важкі $\gamma \leq 800 \text{ кг/м}^3$, надважкі $\gamma \leq 1000 \text{ кг/м}^3$. Легкі та напівважкі плити можуть бути використані у якості теплоізолюючого матеріалу. Основні фізико-механічні показники, що контролюють згідно стандарту: середня густина — 500...650 кг/м^3 , межа міцності при розтягуванні 0,3 МПа, межа міцності при вигині 13...15 МПа, вологість 6...8%, набухання по товщині за 24 год — 14...24%.

37.1. Сировинні матеріали

Сировиною для виготовлення деревиностружкових плит служить стружка хвойних та листяних порід дерев. При виготовленні багатошарових плит для зовнішніх шарів необхідно застосовувати м'яку та легку деревину, для внутрішніх — відходи деревообробки, технологічні тріски, що утворюються при рубці деревини. В якості зв'язуючого, яким просочують та проклеюють деревну стружку, використовують фенолформальдегідні та карбамідні смоли. Для надання біостійкості до складу сировинної маси вводять антисептики, для підвищення важкоспалюваності — антипірени.

Тип окремих компонентів впливає на відповідні властивості деревостружкової плити. За рахунок введення певних добавок та покриттів можна змінювати гіроскопічність і пожежостійкість, а також стійкість до нападу шкідників.

37.2. Виробництво деревиностружкових плит

Деревиностружкові плити в залежності від виду виготовляють за методом екструзії або пресування. Технологічний процес виробництва ДСП складається з операції підготовки сировини: первинне подрібнення деревини у стружку; вторинне подрібнення; сортування стружки на фракції з видаленням дрібноти; сушіння; змішування стружки з зв'язуючими речовинами, гідрофобізуючими

домішками, пігментами, антисептиками; формування стружкового килима; холодне та гаряче пресування; витримання плит в визрівальних теплообробних камерах; обрізування та розкроювання легких плит на форматно-обрізних установках.

Перед змішуванням стружки з зв'язуючим її сушать до 5% вологості (в окремих випадках допускається використання стружки з 7% вологості). Стружку та смолу у вигляді тонкодисперсного або водно-колоїдного розчину подають у змішувачі періодичної або безперервної дії. Витрати смоли можуть сягати 10...12% від маси сухої стружки.

Формування плит здійснюють в формах, які складаються з металевого піддона з установленою на ньому рамою з дерев'яних рейок. Враховуючи низьку густину стружки вилитий шар матеріалу у формі значно перевищує проектну товщину плити, тому матеріал у формі обов'язково підпресовують. У цьому випадку стружки розміщуються практично паралельно до площини плити.

Гаряче пресування здійснюють на пресах різної конструкції. Цикл пресування складається з двох стадій — 7 хв при температурі 120 °С та 4 хв при 180 °С, тиск пресування визначається середньою густиною ДСП яку отримують.

В камерах визрівання при постійній температурі плити витримують протягом 8...12 год для зменшення усадкових напруг та вирівнювання вологи. Після цього плити розкроюють та обрізають на форматнообрізних установках.

В Німеччині такий спосіб виробництва деревиностружкових плит отримав назву плоского пресування. За цим способом виготовляється 95% усіх деревиностружкових плит. Залишок складають плити виготовлені за способом профільного пресування.

При профільному пресуванні (штранг-пресуванні, екструзії) у безперервному процесі виготовляється плита у вигляді нескінченної смуги. Утворюється лише одношарова структура, стружка орієнтована переважно перпендикулярно до площини плити (напрямок виготовлення). Таким чином можна легко виробляти також "порожнисті деревиностружкові плити", котрі мають у середній зоні поперечного перерізу плити трубоподібні порожнини. Унаслідок низької міцності та відносно великого подовжнього набухання плити, зроблені методом профільного пресування, найчастіше обличковуються.

У будівництві плити, виготовлені методом профільного пресування, майже не застосовуються, тому в підручнику не приведено їхнього докладного опису, (вимоги до них наведені у стандартах: DIN 68 764 та DIN 1052, частина 3).

Залежно від зв'язуючої речовини, добавок, які додаються для захисту деревини, та способу виготовлення розрізняють такі стандартні типи плит для будівництва:

Плити, одержані методом плоского пресування, згідно з DIN 68 763: такі плити можна використовувати в будівництві дерев'яних споруд як елемент несучої обшивки стін і стель, які надають жорсткості конструкції. Плити V100G можна застосовувати для зовнішньої обшивки та для риштування стель. Плити, виготовлені способом плоского пресування, використовують як обшивки перегородок, стін та стель, а також як плити для підлог.

Нижче наведені марки ДСП та області їх застосування:

V20	Проклеєні, стійкі при використанні в приміщеннях із зазвичай низькою вологістю повітря. Клеї: амінопласти, фенолформальдегідні смоли, полімерні дифенілметан-диізоціанати (PMDI)
V100	Проклеєні, стійкі до високої вологості повітря. Клеї: фенолформальдегідні, фенолрезорцинові смоли, полімерні дифенілметан-диізоціанати (PMDI)
V100G	Проклеєні, стійкі до високої вологості повітря. Клеї: фенолформальдегідні, фенолрезорцинові смоли, просочені засобом для захисту деревини від руйнуючих її грибків (базидіоміцетів)

Ненесучі деревиностружкові плити згідно з DIN 68 762: Ці плити застосовують для спеціальних цілей, здебільшого для звуковбирних та декоративних облицювань стін і стель (наприклад, легкі деревиностружкові звуковбирні личкувальні плити). Розрізняють такі стандартні типи:

LF	Легкі плити, одержані методом плоского пресування, які відзначаються великим звуковбиранням, з обшивкою чи без неї, або з покриттям .
LRD	Порожнисті деревиностружкові плити, виготовлені методом профільного (штранг) пресування, з покриттям або обшивкою по обидва боки, з перфорованою поверхнею та значним звукопоглинанням.
LMD	Суцільні деревиностружкові плити, отримані методом профільного (штранг) пресування, з покриттям чи обшивкою по обидва боки, з перфорованою поверхнею та чудовим звуковбиранням.
LR	Порожнисті деревиностружкові плити, виготовлені методом профільного (штранг) пресування, з покриттям або обшивкою по обидва боки, із суцільною поверхнею.

Плити мають прямокутну форму. Можлива розмаїтість варіантів розмірів плит упорядкована відповідно до заявок замовників в межах стандартних типових габаритів. Стандартні розміри плит залежать від формату преса. Їхня ширина може становить від 1700 до 2600 см, а довжина — від 3600 до понад 5000 см (див. таблицю 37.1.).

Таблиця 37.1.

Габарити плит, виготовлених методом плоского пресування

Показники плит		Допустимі відхилення розмірів окремих плит
Номінальна товщина (переважний розмір), мм	6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 60, 70	<ul style="list-style-type: none"> ■ ± 0,3 мм для шліфованої плити ■ 0,3 мм для нешліфованої плити
Ширина	Стандартні розміри плит	± 5 мм
Довжина		± 5 мм

Деревиностружкові плити взагалі можна обробляти так само, як суцільну деревину. Вони прикріплюються до відповідної основи за допомогою шурупів, цвяхів та скоб. Якщо плити приклеюються, необхідно стежити за тим, щоб використовуваний клей відповідав зв'язуючому деревиностружкових плит. Деревиностружкові плити можна з'єднувати за допомогою пазів і шипів.

В німецьких стандартах залежно від густини розрізняють легкі, напівважкі та важкі деревиностружкові плити (таблиця 37.2).

Таблиця 37.2.

Густина плит, виготовлених способом плоского пресування

Вид плит	Густина [кг/м ³]	Сфера використання
Легкі деревиностружкові плити	250-600	звуковбирні лицювальні плити
Напівважкі деревиностружкові плити	550-750	загальне будівництво
Важкі деревиностружкові плити	750-850	підлоги, сходинок
Деревиностружкові плити з цементом у ролі в'язуючої речовини	> 1000	Див.нижче

У будівництві використовують переважно напівважкі плити густиною від 550 до 750 кг/м³. Звуковбирні лицювальні плити стандартних типів LF та LRD представлені легкими деревиностружковими плитами густиною в діапазоні від 250 до 600 кг/м³. Важкі деревиностружкові плити густиною в діапазоні від 750 до 850 кг/м³ в основному застосовуються для сходинок, підлог, опалубки для бетону тощо. Зі збільшенням товщини плит, одержаних способом плоского пресування, густина знижується.

При дії навантаження перпендикулярно до площини стандартних плит, виготовлених способом плоского пресування, зі збільшенням товщини знижується модуль пружності та міцність при вигині. Структура шарів й анізотропія деревинної стружки обумовлюють також відмінні значення міцності та здатності змінювати форму в процесі обробки при різних типах навантаження що залежать також від товщини плити. Фізичні властивості плит стандартних типів, виготовлених методом плоского пресування, наведені в таблиці 37.3. Згідно з DIN 68 763 вологовміст повинен бути в межах від 5 до 13%. Значення, визначені на практиці, належать радше до нижнього діапазону. Деревинностружкові плити з густиною $\geq 230 \text{ кг/м}^3$ і товщиною $> 5 \text{ мм}$ без спеціальних підтверджень вважаються звичайнозаймистими, клас будівельних матеріалів В2. Якщо деревинностружкові плити повинні задовольняти більш високі вимоги до пожежостійкості, необхідне документальне підтвердження відповідних властивостей (DIN 4102). Деревинностружкові плити, котрі належать до такого класу будівельних матеріалів, підлягають обов'язковому маркуванню контрольним знаком та перевірці в системі контролю й забезпечення якості.

Таблиця 37.3.

Будівельно-фізичні властивості плит стандартних типів V20 та V200, виготовлених методом плоского пресування згідно з DIN 68 763

Величина усадки/набрякання 20 °С, відносна вологість повітря 30% → 20 °С, відносна вологість повітря 90%	%	0,3 — 0,4
Опір дифузії водяної пари μ DIN 4108, частина 4	—	50/100
Теплопровідність Розрахункове значення аналогічне до DIN 4108, частина 4	Вт/мК	0,13

Важкозаймисті деревинностружкові плити (класу будівельних матеріалів В1) при виготовленні можна одержати за допомогою додання вогнезахисних добавок або нанесення додаткової захисної фарби/покриття. Деревинностружкові плити, у яких в'язучою речовиною є цемент, зазвичай належать до класу будівельних матеріалів В1. Існують також негорючі спеціальні деревинностружкові плити класу будівельних матеріалів А2.

§ 38. Фанера

Основне поняття фанери охоплює всі плити, які формуються не менш ніж із трьох склеєних один з одним шарів деревини, напрямки волокон яких перехрещуються. Окрім шарів деревини зі шпона, перегородок чи рейок, фанера складається з різноманітних клеїв і,

залежно від конкретних обставин, захисних речовин проти шкідників або вогню. Окремі шари фанери можна склеювати за допомогою клеїв, що містять формальдегід (на основі сечовино-формальдегідної, меламіно-формальдегідної чи фенольної смоли).

Відповідно до ГОСТів: 30424 «Фанера загального призначення»; 3916.1 «Фанера загального призначення зовнішніми шарами з шпона листяних порід»; та 3916.2 «Фанера загального призначення з зовнішніми шарами з шпона хвойних порід» фанеру поділяють:

- в залежності від зовнішнього виду поверхні на п'ять сортів Ех (елітна), Іх, ІІх, ІІІх, ІVх;
- по ступеню водостійкості клейового з'єднання на марки ФСФ — фанера підвищеної водостійкості; ФК — фанера водостійка;
- по ступеню механічної обробки поверхні фанери на НШ — не шліфовану, Ш-1 — шліфовану з одного боку, Ш-2 — шліфовану з двох боків.

38.1. Технологія виробництва фанери

Для виготовлення фанери потрібен тонкий шпон, котрий зазвичай одержують шляхом розшаровування круглого лісоматеріалу (шпон, лущена фанера). Товщина шарів цього шпона для центральних шарів фанери становить від 0,05 мм до 8 мм. Як верхній шар використовують також струганий шпон (ножову фанеру), товщина якої, як правило, дорівнює від 0,5 мм до 8 мм.

Технологічний процес виробництва 5-ти шарової клеєної фанери складається з таких основних операцій: розпилювання колод на кряжі, пропарювання кряжів, знімання кори з кряжів, лущення шпону, розрізання шпону на листові заготовки, сушіння шпону, нанесення клею на шпон, заготівля листів (пакетів) і їх склеювання під тиском, обрізка кромки, усунення дефектів та оздоблення, пакування готової продукції.

З пропарених розм'якшених кряжів знімають кору і подають на лущильні верстати. Лущильний верстат — це звичайний тип токарного верстата з обертовим і поперечним супортом, на якому закріплений у вигляді різця довгий ніж з притискним пристроєм. Ніж підведений до кряжа, що обертається, зрізає неперервну стружку шпону потрібної товщини.

Фанерні плити здебільшого збирають із непарної кількості склесених перехресно один з одним шарів. Шари пресуються, затвердіння клею в пресі відбувається під впливом температури.

У фанері із серединкою з брусків чи рейок (столярна плита) середній шар складається з планок із суцільної деревини завширшки приблизно 24 мм або з лущеного шпона завтовшки від 5 до 8 мм, поставлених на ребро. По обидва боки середнього шару розташовується облицювальна фанера.

Класифікація плит за типами для будівельної фанери (DIN 68 705, частини 3–5) здійснюється залежно від склеювання та можливої області застосування.

Розрізняють такі стандартні типи згідно з частиною 3 DIN 68 705 (будівельна шпонова фанера) і частиною 4 (фанера із серединкою з брусків або рейок):

Таблиця 38.1

Стандартні типи фанери

BFU 20, BST 20, BSTAE 20	Фанера для внутрішнього опорядження, клей не стійкий до дії атмосферних чинників
BFU 100, BST 100, BSTAE 100	Фанера для зовнішнього опорядження, клей стійкий до впливу атмосферних факторів. За відсутності захисту від дії атмосферних чинників залежно від типу використовуваної деревини можуть виникнути проблеми.
BFU 100 G, BST 100 G, BSTAE 100 G	Клей стійкий до впливу атмосферних факторів, з захисними засобами від руйнуючих деревину грибків
BFU-BU 100	Будівельна шпонова фанера з бука відповідно до частини 5 DIN 68 705, клей стійкий до впливу атмосферних чинників
BFU-BU 100 G	Будівельна шпонова фанера з бука згідно з частиною 5 DIN 68 705, клей стійкий до впливу атмосферних факторів, з захисними засобами від руйнуючих деревину грибків

Плити з будівельної фанери особливо підходять для спорудження несучих конструкцій при будівництві дерев'яних споруд як елементи несучої обшивки, що надають жорсткості, а також для риштування дахів. Порівняно з іншими плитами з лісоматеріалів вони відзначаються максимальними значеннями модуля пружності та міцності й, відповідно, максимальними допустимими напругами. Їх доцільно застосовувати в тих випадках, коли справді потрібна велика міцність чи опірність до впливу атмосферних факторів, оскільки часто виявляється, що вони коштують дорожче за відповідні деревиностружкові або деревиноволокнисті плити.

Найпоширеніші розміри згідно з DIN 4078 для фанери з луценого шпона, а також фанери із середнім шаром з брусків та рейок наведені в таблиці 38.1. Довжина плит при цьому вимірюється в напрямку волокон лицювальної фанери.

Фанеру можна обробляти як суцільну деревину. Її можна кріпити до придатної основи за допомогою шурупів, цвяхів і скоб.

Зі збільшенням густини деревини, як правило, зростають пружні властивості та міцність, твердість і теплопровідність. Тому густина фанери прямо пов'язана з іншими властивостями плит.

Таблиця 38.2.

Рекомендовані розміри фанери

Розміри, рекомендовані згідно з DIN 4078 для фанери			Допустимі відхилення розмірів
Фанера з лущеного шпона	Товщина [мм]	4, 5, 6 ... 50	± 6 % для нешліфованих плит + 0,2/-0,5 мм для шліфованих плит
	Довжина [мм]	до 8000	± 3 мм для плит BFU ± 2 мм для плит BFU-BU
	Ширина [мм]	до 5000	± 3 мм для плит BFU ± 2 мм для плит BFU-BU
Фанера із середнім шаром з брусків або рейок	Товщина [мм]	40, 50 ... 160	+ 12/0 % для нешліфованих плит + 0,2/-0,5 мм для шліфованих плит
	Довжина [мм]	3000 ... 8000	± 3 мм
	Ширина [мм]	2440, 2500 ... 5400	± 3 мм

Різниця між густиною окремих сортів деревини хвойних порід незначна — вона перебуває в діапазоні від 0,4 до 0,6 г/см³ (для порівняння: бук — 0,69 г/см³). Унаслідок вмісту в ній клею та за рахунок ущільнення деревини в процесі пресування густина готової фанери найчастіше трішки вища за густину деревини, використаної для її виготовлення. При виготовленні деревиношаруватого пластику на синтетичному зв'язуючому (бук) за рахунок додаткового просочення та сильного ущільнення можна досягти значення густини 1,4 г/см³. Пружні й міцнісні властивості обумовлюються, зокрема, структурою фанерних плит і використовуваних сортів деревини. При цьому структура плит відрізняється кількістю, товщиною та орієнтацією окремих шарів у поперечному перерізі плити.

Таблиця 38.3.

Будівельно-фізичні властивості будівельної фанери з лущеного шпона

Властивість		Одиниця виміру	Значення
Компенсаційна вологість		%	5 – 15
Величина усадки/набрякання при зміні вологості фанери на 1 %	Довжина/Ширина Товщина	%	0,01-0,02 0,25-0,35
Опір дифузії водяної пари μ DIN 4108, частина 4		—	50/400 ¹⁾
Теплопровідність Розрахункове значення аналогічне до DIN 4108, частина 4		Вт/мК	0,15

¹⁾ Для фанери опір дифузії визначається, насамперед, товщиною та кількістю клейових прошарків, оскільки опір закритого клейового прошарка для водяної пари майже в 50 разів вищий, ніж шару деревини такої самої товщини. За допомогою нанесення додаткових покриттів можна зробити фанеру практично непроникною для водяної пари.

Плити з лісоматеріалів з густиною $\geq 400 \text{ кг/м}^3$ та товщиною $> 2 \text{ мм}$ або з густиною $\geq 230 \text{ кг/м}^3$ і товщиною $> 5 \text{ мм}$ без спеціальних підтверджень вважаються звичайнозаймистими, клас будівельних матеріалів В2.

Обробляючи їх вогнезахисними солями, можна виготовляти плити, котрі відповідають класу будівельних матеріалів В1 (важкозаймисті, вони підлягають маркуванню контрольним знаком). Звичайно займисті фанери за допомогою додаткового оброблення вогнезахисними піноутворюючими засобами можна перетворити на важкозаймисті.

Властивості фанери з лущеного шпона наведені в таблиці 38.2.

§ 39. Фіброліт

Фіброліт — плитний матеріал, виготовлений в процесі змішування деревини вовни з мінеральним в'язучим, пресування отриманої маси та теплової обробки виробів.

В якості в'язучого використовують портландцемент, магнезійне та магнезійно-доломітове в'язуче, вапно та гіпс, а в якості заповнювача – деревну вовну (стрічкоподібні деревні частини), які виготовляють на спеціальних строгальних станках.

39.1. Класифікація та основні властивості

Промисловістю випускаються три види фіброліту (ГОСТ 8928-81): теплоізоляційний ($\gamma \geq 310 \text{ кг/м}^3$), теплоізоляційно-конструкційний і звукоізоляційний ($\gamma = 350 \dots 400 \text{ кг/м}^3$) та конструкційно-теплоізоляційний акустичний ($\gamma = 400 \dots 500 \text{ кг/м}^3$).

Товщина плит марок 300 та 350 повинна бути не меншою за 50 мм. Відхилення від розмірів плит не повинні перевищувати по довжині та ширині $\pm 5 \text{ мм}$, по товщині $+ 3 \text{ мм}$.

Розміри плит акустичного фіброліту (у мм: довжина 3000, ширина 1150, товщина 25, 30 та 35).

Фізико-механічні властивості цементного фіброліту наведені у таблиці 39.1.

Плити не повинні мати тріщин, розшарувань, глибоких западин та випуклостей, відколів на гранях та кутах, а також непокритої цементним розчином деревини вовни.

Таблиця 39.1.

Основні властивості цементного фіброліту

Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при вигині, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м К, не більше	Вологість, %, не більше	Загальна пористість, %
300	4	0,098	20	87
350	5	0,110	20	83
400	7	0,112	20	82
500	12	0,151	20	77

39.2. Сировинні матеріали

Деревну стружку (вовну) виготовляють на спеціальних строгальних (деревино-вовняних) станках насамперед з деревини таких хвойних порід як ялина, сосна, смерека наступних стружкових розмірів: довжина — не більше 500 мм, ширина 1...5 мм, товщина 0,2...0,7 мм.

Ці розміри коригують в залежності від виду плитних виробів: для конструктивних плит використовують деревну вовну шириною 3...4 мм та товщиною 0,3...0,5 мм, а для акустичних плит — більш товсту деревну вовну шириною 0,4...0,6 мм.

Для виробництва фіброліта використовують тільки витриману деревину. Природна сушка деревини призводить до знешкодження різних видів вуглеводів та інших екстрактивних речовин які містяться в деревині, що негативно впливають на процеси тужавлення та твердіння цементу.

Для зменшення вологості свіжезрубаної деревини до 30...35% її витримують в природних умовах близько трьох місяців.

Таблиця 39.2.

Звукопоглинання цементного фіброліту в залежності від способу закріплення його до будівельних конструкцій

Товщина плити та вид закріплення до стіни	Частота, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	5000
Плита товщиною 30 мм, закріплена впритул до поверхні	0,06	0,10	0,25	0,38	0,59	0,63	0,63
Плита товщиною 30 мм, закріплена на відстані 100 мм	0,06	0,27	0,46	0,35	0,54	0,61	0,63
Плита товщиною 30 мм, закріплена на відстані 150 мм	0,13	0,42	0,53	0,35	0,53	0,63	0,6

При використанні витриманих хвойних порід у виготовленні фіброліту застосовують портландцемент марки 500, у всіх інших

випадках портландцемент марки 600 з введенням 2...4% гіпса (від маси цементу). Найбільш придатні швидкотверднучі цементи, наприклад алітові, високоалюмінатні цементи, що вміщують не менше 50% трьох кальцієвого силіката (C_3S) та 10...14% трьохкальцієвого алюміната (C_3A).

В якості мінералізаторів деревиної вовни використовують хлористий кальцій (ГОСТ 4501), розчинне скло (ГОСТ 462) та сірчаноокислий глинозем очищений (ГОСТ 1818) та неочищений (ГОСТ 5155).

39.3. Технологія виробництва фіброліта

Технологічна схема виробництва цементного фіброліта включає в себе: підготовку сировини, виготовлення деревиної вовни та її мінералізацію, змішування, формовку, твердіння та сушку.

Підготовка та обробка деревиної сировини складається з операцій зняття кори, витримування, розпилювання на колоди та розколки останніх.

Після зняття кори дерева витримують в штабелях для знешкодження екстрактивних речовин та висушування деревини до вологості 30...35%. Останній показник дуже впливає на роботу строгальних станків при виготовленні деревиної вовни, оскільки при підвищеній вологості забиваються роздільні ножі, а при вологості менше 15 % вовна стає ламкою, через що виникає багато трісок та сміття, що погіршують якість фіброліта.

Деревна вовна повинна відповідати вимогам ГОСТ 5244:

- а) мати форму плоских стрічок, не скручених у спіралі, без вузлів;
- б) вміст вовни довжиною від 200 до 500 мм повинен складати не менше 88 %, довжиною від 50 до 200 мм не більше 10 %, довжиною менше 50 мм — не більше 2%;
- в) вовна повинна бути чистою, без гнилі, кори та інших включень;
- г) мати вологість не більше 22%.

Технологічна схема виробництва цементного фіброліта наведена на рис. 39.1.

Мінералізацію деревиної вовни з витриманої ялинової або ялицевої деревини виконують просочуванням робочим розчином хлористого кальцію ($CaCl_2$).

При використанні листової деревини або сосни використовують рідке скло або сірчаноокислий глинозем.

Температура робочих розчинів мінералізаторів має складати 30...35 °С. При просочуванні деревиної вовни необхідно передбачити осадження та видалення нерозчинного осаду.

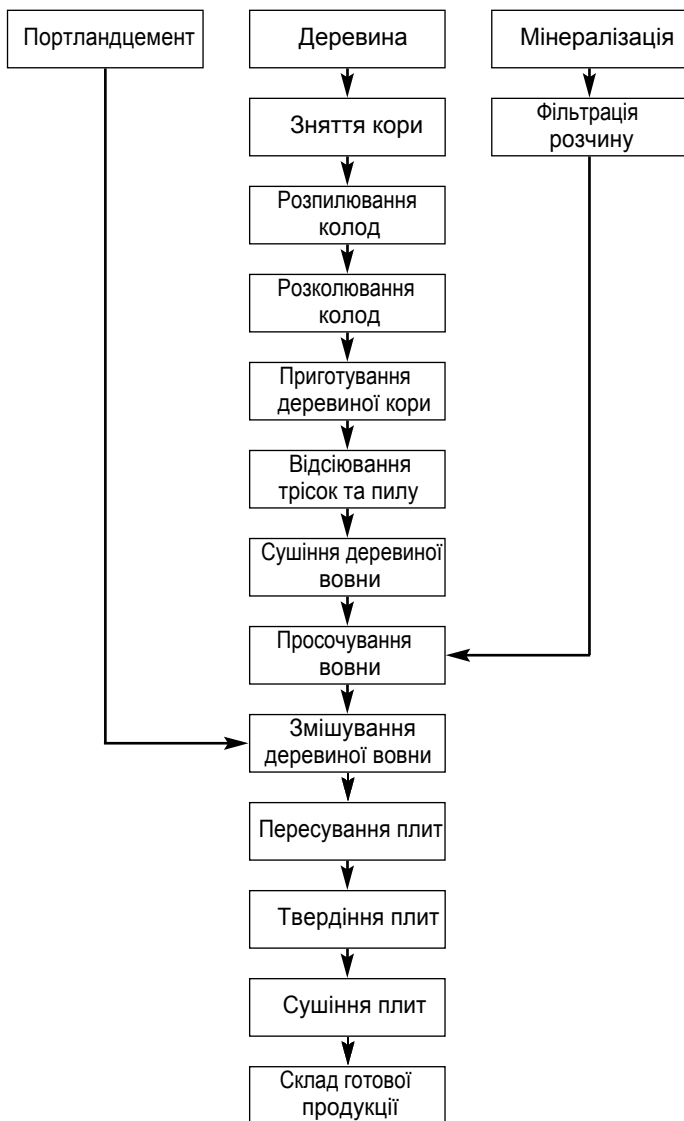


Рис. 39.1. Технологічна схема виробництва цементного фіброліта

Мінералізовану деревну вовну змішують з цементом у наступних пропорціях:

Марка плити	300	350	400	500
Вміст цементу в кг/кг вовни вологістю 22 %	1,9-2,0	2,0	1,7	1,3

Цемент змішують з вовною в змішувачах неперервної або періодичної дії, що забезпечують рівномірний розподіл цементу по вовні.

Суміш цементу з вовною із змішувача подають у форми. Товщина шару суміші, яку заливають у форми в залежності від товщини готової плити Н, складає:

- 2,5...3 Н при виготовленні плит марок 300...350;
- 3,5...5 Н при виготовленні плит марок 400...500;

Конструкція форм повинна забезпечувати можливість пакетного пресування плит, а також їх обтискання на протязі тривалого часу. Найчастіше висоту бортових елементів приймають рівною товщині плит, в цьому випадку верхня площина плити формується при пресуванні нижньою частиною піддона плити, що знаходиться наверху.

Для пресування плит використовують преси різних конструкцій що забезпечують зусилля пресування:

Марка фіброліта	300	350	400	500
Необхідний тиск при пресуванні, МПа	0,025-0,035	0,14-0,16	0,06-0,1	0,12-0,25

Менші значення тиску встановлюють для тонкої деревинної вовни (≤ 3 мм) та плит товщиною ≤ 50 мм, більші для грубої деревинної вовни (≥ 3 мм) та плит товщиною ≥ 100 мм.

Після досягнення необхідного ступеня ущільнення плит вони затискуються спеціальними пристроями або під дією маси форм, які знаходяться над нею.

Природне тверднення плит може відбуватися у закритому приміщенні при температурі 18...20 °С протягом 2...3 діб. Штучне тверднення здійснюється при температурі 30...40 °С та вологості повітря 60...70% протягом однієї доби.

Плити що затверділи розпалублюють, зачищають задирки і після цього сушать.

Сушку плит виконують протягом тижня в приміщенні, що провітрюється, при позитивній температурі повітря до залишкової вологості плит 20%.

Плити необхідно зберігати в умовах, що унеможливають їх зволоження, укладеними та розсортированными за марками та розмірами.

§ 40. Теплоізоляційно-конструктивні вироби на основі деревино-цементних композицій

До цієї групи матеріалів відносять вироби, що виготовлені із раціонально підібраних сумішей, які складаються з мінеральних в'язучих (портландцемент, магнезійне в'язуче), органічних заповнювачів (деревна стружка, деревна тирса) і різних добавок (пластифікатори, мінералізатори та інші). Основними видами таких теплоізоляційно-конструктивних матеріалів є арболіт та ксилоліт.

40.1. Арболіт

Арболіт — різновид легкого бетону на органічному (деревна стружка) заповнювачі. Використовується як матеріал для виготовлення крупних та дрібних стінових блоків, панелей, плит покриття, перегородочних плит, тепло – та звукоізоляційних виробів, об'ємно – просторових конструкцій (ДСТУ Б В.2.7-271:2011). Ці вироби в залежності від середньої густини поділяють на теплоізоляційні, густиною 400...500 кг/м³ та конструкційні, густиною 500...850 кг/м³. Основним видом органічного заповнювача є подрібнена деревина, яку отримують з відходів лісозаготовок та лісопиляння. Розміри деревних часток подрібненої деревини не повинні перевищувати по довжині 60 мм, по ширині 10 мм, по товщині 5 мм. Вміст кори в заповнювачі не повинен перевищувати 10%, а хвої та листя — не більше 5% від сухої подрібненої деревинної маси.

В якості органічного заповнювача у виробництві арболітових виробів можуть бути використані подрібнена костриця таких лубкових рослин як льон та конопля, та подрібнені стебла бавовника та рисової соломи.

Середня густина та величина теплопровідності арболіту залежить від виду органічного заповнювача (табл. 40.1.).

Механічні властивості арболіта погіршуються зі збільшенням вологості, особливо інтенсивно в діапазоні від 0 до 25% від маси. Сорбційне зволоження арболіта залежить від його середньої густини та виду заповнювача. При відносній вологості середовища 40...90% сорбційне зволоження складає 4...12%, що показує недостатню гігроскопічність та біостійкість арболіта. Для підвищення експлуатаційних характеристик конструкції із арболіта з внутрішньої сторони повинні бути офактурені шаром цементно-піщаного розчину товщиною 20 мм. Найменування арболіту визначається видом органічного заповнювача та має відповідати ДСТУ Б В.2.7-221:2009. Проектування складу арболіта виконують згідно вимог СН 549-82 «Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита».

Таблиця 40.1.

Середня густина арболіта в залежності від виду заповнювача

Вид арболіта	Клас за міцністю на стиск	Марка за міцністю при осьовому стиску	Середня густина, кг/м ³ , арболіта на			
			Подрібненій деревині	Костриці льону, подрібнених стебля бавовника	Костриці коноплі	Подрібненій рисовій соломі
Теплоізоляційний	В 0,35	М 5	400-500	400-500	400-500	500
	В 0,75	М 10	450-500	450-500	450-500	—
	В 1,0	М 15	500	500	500	—
Конструкційний	В 1,5	— М 25	500-600	550-650	550-650	600-700
	В 2,0		500-700	400-700	600-700	—
	В 2,5	М 35	600-750	700-800	—	—
	В 3,5	М 50	700-850	—	—	—

40.2. Ксилоліт

Ксилоліт являє собою різновид бетону на магнезійному в'язучому, де в якості заповнювача використовують деревну тирсу, що проходить через сито з отворами 5 мм.

Ксилоліт завдяки неспалимості, низькій теплопровідності, високій морозо-, водостійкості, опору ударним навантаженням, стиранності застосовують в якості теплих наливних підлог промислових будівель та споруд, а також для виготовлення штучних пресованих виробів — підвіконних дощок.

Таблиця 40.2.

Теплопровідність арболіту в залежності від виду заповнювача

Вид заповнювача	Теплопровідність арболіта, Вт/м К при середній густині кг/м ³									
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
Подрібнена деревина	0,08	0,09	0,095	0,105	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
Подрібнені стебля бавовника та рисової соломі, костриці, льону та коноплі	0,07	0,075	0,08	0,095	0,105	0,11	0,12	—	—	—

Враховуючи що інші композиційні матеріали на основі деревини (деревиношаруваті пластики, цементно тирсові плити та інші) мають високу густину і не можуть бути віднесені до класу теплоізоляційних матеріалів в даному підручнику вони не розглядаються.

§ 41. Інші типи плит на основі деревини

41.1. Плити OSB

Плити OSB (від англ. Oriented Strand Board) — це деревиностружкові плити, стружки в яких орієнтовані в певному напрямку. Використовуються відносно довгі, великі стружки (Strands), котрі викладаються в поздовжньому або поперечному напрямку щодо напрямку виготовлення плит за допомогою спеціальних пристроїв для розсипання матеріалу. При тришаровій структурі зазвичай стружки в середньому шарі орієнтовані поперек, а стружки в лицевальних шарах — уздовж напрямку виготовлення плит.

Плити OSB наділені чудовими механічними властивостями; їхня жорсткість у напрямку, паралельному до переважного напрямку розміщення стружок, майже у два з половиною рази вища, ніж жорсткість плит, виготовлених способом плоского пресування відповідно до ДСТУ EN 300:2008 та DIN 68 763.

Плити використовують здебільшого для підлог та підшивки дахів, а також опалубки стін. Завдяки декоративному вигляду поверхні плит з їхньою пластичною структурою, ці плити застосовують також у виробленні меблів, для декорування торгових приміщень і внутрішнього оздоблення приміщень. Технічні дані та будівельно-фізичні параметри плит OSB, допущених до використання органами будівельного нагляду, наведені в таблиці 41.1. як орієнтовні значення. При застосуванні плит потрібно зважати на технічні умови (наприклад, допустимі напруги) окремих виробників.

Таблиця 41.1.

Технічні та будівельно-фізичні властивості плит OSB

Властивості	Одиниця виміру	Товщина	
		$6 \leq d \leq 18$	$18 \leq d \leq 22$
Допуски за товщиною	мм	для нешліфованих плит $\pm 0,8$ для шліфованих плит $\pm 0,3$	
Допуски за довжиною/шириною	мм	± 3	
Прямокутність	мм	2 мм на 1000 мм довжини	
Густина (мінімально допустимі значення)	кг/м ³	650	600
Міцність при вигині			
поздовжня	Н/мм ²	40	40
поперечна	Н/мм ²	19	18
Міцність при поперечному розтягуванні	Н/мм ²	$\geq 0,15$	$\geq 0,15$
Компенсаційна вологість	%	9 ± 4	
Набрякання за товщиною через 24 години витримання під водою	%	≤ 12	≤ 10
Опір дифузії водяної пари μ аналогічно до DIN 4108, частина 4	—	110/260	
Теплопровідність — розрахункове значення аналогічне до DIN 4108, частина 4	Вт/мК	0,13	

41.2. Плити MDF

Плити MDF (Medium Density Fibreboard) виготовляють на устаткуванні для плоского пресування, насипаючи замість стружок деревні волокна. Структура плит по всьому поперечному перерізу настільки рівномірно тонка й щільна, що їх можна обробляти та покривати так само, як і суцільну деревину.

41.3. Панелі та кесони

Панелі згідно з DIN 68 740 вирізняються високоякісним покриттям поверхні, зазвичай мають прямокутну форму із середніми шарами (основою) з лісоматеріалів і личкувальними шарами з обох боків. Як правило, довжина панелей набагато перевищує їхню ширину; короткі панелі, аж до квадратної форми, називаються кесонами. Середній шар є несучим елементом панелі. Він складається з лісоматеріалу (наприклад, стружкової плити, фанери, деревиноволокнистої плити). Лицювальні шари являють собою нанесені по обидва боки основи матеріали, які утворюють облицьовувальну поверхню.

Вони з'єднуються із середнім шаром, наприклад, шляхом склеювання. Личкувальні шари можуть складатися з дерев'яної фанери або пластмасових покриттів (плівок, плит). Панелі використовують для облицьовування стін як верхні шари (покриття).

Таблиця 41.2.

Рекомендовані розміри панелей згідно з DIN 68 740

Габарити	Рекомендований розмір
Довжина панелі (мін. 400 мм)	2600, 3500, 4100
Ширина панелі (від 80 до 625 мм)	100, 125, 200
Довжина кесона	500, 625, 900, 1200
Ширина кесона	300, 500, 625
Товщина панелі/кесона (від 10 до 13 мм)	13

41.4. Профільовані (фасонні) елементи з лісоматеріалів

Профільовані елементи з лісоматеріалів застосовують як елемент дизайну для обличкування. Розрізняють профільовані дошки відповідно до DIN 68 126, частини 1 і 3, волокнисті дошки згідно з DIN 68 122 та звуковбирні лицювальні дошки відповідно до DIN 68 127. Профільовані елементи з лісоматеріалів зазвичай виготовляють із суцільного дерева, їхня довжина значно перевищує ширину, а товщина рідко буває більшою за 20 мм. Дошки найчастіше придатні для двостороннього закріплення й мають стругані шипи, або використовуються вставні шипи для з'єднання.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Назвіть основні види теплоізоляційних виробів з деревини.
2. За якими основними властивостями поділяють деревноволокнисті плити?
3. Які вимоги до деревноволокнистих плит висуваються українськими та німецькими стандартами?
4. Опишіть технологію виробництва деревноволокнистих плит.
5. Які відмінності у технології виробництва м'яких та твердих деревноволокнистих плит?
6. Дайте визначення деревностружковим плитам.
7. Опишіть технологію виробництва деревностружкових плит.
8. Які види деревностружкових плит можна використовувати в якості звукоізолюючих (акустичних) виробів?
9. За якими ознаками поділяють на сорти фанеру?
10. Опишіть технологію виробництва фанери.
11. Порівняйте коефіцієнти теплопровідності деревноволокнистих матеріалів та запропонуйте можливі області застосування.
12. Дайте визначення фіброліту.
13. Опишіть технологію виробництва фіброліту.
14. Наведіть приклади теплоізоляційно-конструктивних виробів на основі деревино-цементних композицій.
15. Охарактеризуйте плити OSB та MDF.

Рекомендована навчально-методична література

1. Справочник по производству теплозвукоизоляционных материалов. Под ред. Спирина Ю.Л., Москва: Стройиздат, 1975. — 432 с.
2. Строительные материалы. Учебно-справочное пособие / Под ред. Г.А.Айралетова, Г.В. Несветаева. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2004. — 608 с.
3. Будівельне матеріалознавство: Підручник під ред. Кривенко П.В. — Київ: ТОВ УВПК «Екс ОБ», 2004. — 704 с.
4. Technologie für Stuckature und Trockenbauer. Rupp, Gerhard, 3. Auflage, Wiesbaden 2005. — 343 с.
5. Куликов В.А. Производство фанеры — М.: Лесная промышленность, 1976. — 368 с.

ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПІВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

§42. Європейський досвід енергоефективного будівництва на засадах сталого розвитку

Окремі принципи сталого розвитку людство застосовує протягом декількох століть. У лісовому господарстві Німеччини, наприклад, ще 300 років тому висувалися вимоги вирубувати стільки дерев, скільки лісове насадження може відновити. Уже тоді була поставлена мета – досягти рівноваги між природою і регенерацією існуючих ресурсів. Перша нафтова криза 1973 р., яка наочно показала залежність промислових країн від вичерпних викопних ресурсів, змусила знову усвідомити поняття «сталості». В 1983 році Організація Об'єднаних Націй разом зі Світовою комісією з питань довкілля та розвитку (комісія Брундтланд) створила незалежну комісію експертів, яка вперше намітила директиви сталого розвитку. Відповідно до цього розвиток є сталим, якщо він відповідає вимогам сьогоденних поколінь, не зашкоджуючи можливостям майбутніх поколінь задовольняти свої потреби.

Іншою вимогою звітів Брундтланд є рівноправна інтеграція соціальних та екологічних аспектів, на які орієнтується економічний розвиток. У 1992 р. Співдружність країн на конференції ООН у Ріо де Жанейро ознайомилася з директивами сталого розвитку і у Агенді 21 була представлена основна програма дій для глобального перетворення концепції сталого розвитку у 21-му сторіччі.

У 1997 р. промислові країни-учасники зобов'язалися у Кіотському протоколі, як результат зустрічі на найвищому рівні щодо змін світового клімату, зменшити емісію шести парникових газів до кінця періоду 2008 – 2012 років на п'ять відсотків у порівнянні із рівнем 1990 р.

У 2002 р. Федеральний уряд затвердив національну стратегію сталого розвитку під назвою «Перспективи Німеччини». Поряд із заходами та проектами вона містить політичні директиви сталого розвитку у сфері справедливого відношення до поколінь, якості життя, соціальної солідарності, міжнародної відповідальності та питання менеджменту. За допомогою 21 індикатора невинно спостерігають за сталим розвитком на підставі розвитку економіки, довкілля та суспільства. Регулярні доповіді інформують про результати і ставлять головні задачі. Так Федеральний уряд представляє за допомогою аналітичного огляду, який публікується кожні чотири роки – вперше у листопаді 2004 р. – моніторинг

стратегії сталості. За допомогою індикаторів звіту, що публікується кожні два роки, Федеральне відомство статистики за дорученням Федерального уряду обґрунтовує документально показники сталого розвитку у Німеччині. У коаліційному договорі 2009 р. директива сталого розвитку також знайшла своє продовження і зафіксована як обов'язкова. Після цього ФРН має зокрема відповідати у майбутньому своїй функції зразка у будівельній культурі та сталості при впровадженні будівельних заходів.

На європейському рівні будівництво на засадах сталого розвитку було проголошене у контексті ініціативи передових ринків, оголошеної Європейською комісією, як передовий ринок, що має заохочуватися. Ініціатива передових ринків повинна зміцнити ринки на рівні ЄС, які мають потенціал збільшити свій об'єм економіки до 2000 р. більше ніж удвічі і разом створити мільйон робочих місць. Будівництво було названо при цьому передовим ринком, на якому велику роль відіграють аспекти захисту довкілля, питання здоров'я і комфорту користувачів. Комісія ЄС при цьому мала наступні цілі:

- розширити сферу застосування директив щодо загальної ефективності будівель;
- ввести загальноєвропейську енергетичну ефективність для новозбудованих і санованих будівель;
- а також підштовхнути до розробки загальноєвропейських стандартів, які сприятимуть та враховуватимуть будівництво на засадах сталого розвитку.

Ці задачі та цілі для передового ринку будівництва були зібрані у плані дій – «Action Plan for Sustainable Construction».

У рамках політики сталості Федерального уряду Німеччини на різних рівнях були введені різні органи та інструменти. Для підтримки Федерального міністерства транспорту, будівництва та житлово-комунального господарства (BMVBS) у грудні 2001 р. був заснований «Круглий Стіл сталого будівництва» як консультативний орган міністерства. Він складається із представників будівельного комплексу, промисловості, Палати архітекторів та інженерів, важливих будівельних управлінь та науковців. Тут обговорюють такі теми, як редагування директиви сталого будівництва та представляють важливі результати досліджень з цього питання. Круглий Стіл заснував робочі групи для обговорення різних першочергових тем і з 2003 року здійснює інтенсивний науковий супровід у рамках науково-дослідних проектів. Таким чином Круглий Стіл та його робочі групи готують відгуки та розробляють на підставі цього рекомендації щодо заходів для конкретної реалізації. Одержані при цьому знання вливаються, наприклад, в актуалізацію директиви та у зміни системи оцінки сталого будівництва. Організація Круглого Столу доручена відділенню сталого

будівництва Федерального науково-дослідного інституту з розвитку будівництва, міст та регіонів, яке надає фахову та організаційну підтримку міністерству, зокрема, при реалізації та змінах системи оцінювання сталого будівництва, а також проводячи суспільну роботу та опікуючись інформаційним порталом сталого будівництва (www.nachhaltigesbauen.de). Сайт в Інтернеті містить:

- пояснення та допомога у будівництві на засадах сталого розвитку;
- директиви та допомога в роботі при будівництві;
- дані щодо системи оцінки сталого будівництва;
- широкі бази даних з оцінки сталості;
- посилання на науково-дослідні проекти та заходи;
- викладення вдалих прикладів сталого будівництва;
- робочі платформи для членів Круглого Столу.

Так само як у Німеччині у минулі роки і на міжнародному рівні був опублікований цілий ряд рішень для опису, оцінки і визначення якості будівництва на засадах сталого розвитку: директиви, специфікації, бази даних, а також допоміжні засоби з планування та оцінки. Критерії та індикатори для підходу, методик, передачі і обробки даних, а також для застосування іноді дуже різняться. Тому це потребує – навіть стосовно якості, прозорості та відновлюваності інформації і результатів оцінки – міжнародної або європейської гармонізації цих засад і принципів. Для цього важливими є наміри стандартизації у рамках ISO/SC 59/CS 17 «Стале будівництво», які в свою чергу створюють основу для європейських проектів стандартизації будівель. Опис та оцінка тривалого впливу будівель на довкілля регулюються на національному (DIN), європейському (CEN) та міжнародному рівнях (ISO). Концепції сконцентровані на розробці спільної бази для адаптації принципів сталого розвитку до предмету дослідження та оцінки будівель, а також на наданні придатних індикаторів і розрахункових баз.

Окрім того, різні робочі групи мають розробляти основи для опису ознак і властивостей будівельної продукції, що є важливими для довкілля і здоров'я, а також основ для опису, оцінки і представлення якості довкілля і будівель. У Німеччині проводиться професійна робота зі стандартизації робочими колегіями або комітетами DIN. Колегія зі стандартизації NA 005-01-31 AA Стале будівництво (Sp ISO/TC 59/SC 17 і CEN/TC 350) виконує при цьому роль дзеркального комітету Німеччини перед міжнародними органами ISO/TC 59/SC 17 і CEN/TC 350.

Загалом класична концепція сталого розвитку базується на трьох вимірах – екологія, економія та соціальна культура – які слід розглядати як рівноправні через призму довгострокового часового горизонту. Метою є по можливості провести дослідження та оцінку

через весь термін експлуатації будівлі. Для конкретного дослідження життєвого циклу у розрахунках моделюють перші 50 років будівлі.

Що стосується екологічних параметрів сталості, то як первинна мета захисту ставиться дбайливе ставлення до ресурсів шляхом оптимального застосування будівельних матеріалів і будівельної продукції, використання невеликих площ та мінімізація виснаження середовища (наприклад, тепло, електричний струм, вода та стічні води). Беруться до уваги усі необхідні енергетичні та матеріальні потоки від одержання, збагачення та транспортування сировини і до зведення чи розбирання, а також глобальний та локальний вплив на довкілля в результаті споживання енергії, будівельних матеріалів або експлуатації будівлі. З цим пов'язана зазвичай мінімізація навантаження довкілля на локальному та глобальному рівнях. Для об'єктивної оцінки екологічної сумісності будівельної продукції, виходячи для цього із варіантів споруд, слід залучати різні аналізи, наприклад, аналіз ризиків, аналіз матеріального потоку, аналіз матеріалів або екологічний баланс. Якщо говорити про економічні показники сталості, то через витрати на придбання та зведення досліджуються, зокрема, додаткові витрати на будівництво. Тому у центрі уваги стоять витрати на життєвий цикл будівлі, рентабельність та стабільність вартості. Як показують практичні приклади, додаткові витрати на експлуатацію будівель можуть у декілька разів перевищувати витрати на зведення. Глибокий аналіз витрат на життєвий цикл дозволяє частково ідентифікувати значний потенціал економії ще на стадії планування. Як витрати на життєвий цикл (Life-Cycle-Costs – LCC) розглядаються при цьому витрати на зведення (DIN 276), витрати на експлуатацію будівлі (DIN 18960) та витрати на розбирання та утилізацію. Що стосується соціальних та культурних параметрів сталості, чиї слабкі фактори квантифікувати значно важче і тому допускається часткове припущення, то поряд з функціональністю важливого значення набувають питання естетики та дизайну, а також аспекти захисту здоров'я та комфорту. Теплозахист як взимку, так і влітку також роблять свій внесок до комфортності, так само як і звукоізоляція або цілеспрямований вибір будівельного матеріалу (наприклад, застосування малотоксичних продуктів). Проект будівлі, вибір матеріалів, будівельних конструкцій та технологічне устаткування слід розраховувати та у разі необхідності оптимізувати ще на стадії планування. Одночасно проект слід розробляти настільки гнучко, щоб він міг легко адаптуватися до мінливих рамочних умов, як наприклад, зміна користувача та/чи виду експлуатації.

До трьох складових сталості у сфері будівництва відносяться відповідність вимогам безпеки та гігієни, а також цілі захисту сталості. Поряд з екологією, економікою та соціально-культурними

аспектами для опису та оцінки будівлі особливо важливими є також функціональні та технічні властивості (технічна якість), планування та виконання (якість процесу) та деякі топографічні ознаки. Отже три згадані вище колони стійкості доповнені п'ятьма квантифікованими еквівалентами стійкості – інформативне доповнення топографічними ознаками. Різні аспекти сталості прямо взаємодіють один з одним, так що мета однієї максимально цілісної і одночасної оцінки враховуватиме усі аспекти.

Директива, розроблена у редакції інструкції для будівельних управлінь найвищого рівня ФРН, ділиться таким чином на наступні частини:

- загальна назва із зоною регулювання директив;
- частина А. Основні положення
- частина В. Новобудови
- частина С. Експлуатація і господарське використання
- частина D. Фонд

Оскільки директива у своєму застосуванні має пряме відношення до системи оцінки сталості будівництва, при першому кроці для новобудов користуються частинами А і В. Із завершенням методики оцінки сталого будівництва для фонду будівель на іншому кроці наводяться частини С і D. Підпорядкованою ціллю директиви є прозоре зображення взаємодії окремих критеріїв сталості відповідно до окремих фаз планування. При цьому несуттєво, чи йдеться про громадські, чи про приватні будівельні заходи, оскільки принципи для обох сфер зіставні.

У частині А директиви показані загальні засади та методи сталого будівництва. Вони можуть застосовуватися як для будівельних проєктів органів державної влади, так і для приватного господарства. Тут описуються принципи, параметри та якість сталого будівництва, а також загальні вказівки щодо дій для оцінки сталості.

У частині В показані засади, сценарії та основи планування для будівельних заходів на новобудовах, а також більш значні заходи при будівельній діяльності у фонді існуючих будівель. Вони орієнтовані на хронологічну послідовність фаз планування у відповідності до директив для виконання будівельних завдань або стадій виконання постанови про оплату роботи архітекторів та інженерів (HOAI).

Якість сталості будівлі можна прозоро представити із застосуванням системи оцінки сталості будівництва. По відношенню до кожного окремого критерію системи оцінки мають виконуватися мінімальні вимоги і обов'язково наводитися мінімальні підтвердження відповідно до положень на стадії планування. В результаті цього будівлям забезпечуватиметься висока якість сталості, яка має служити прикладом іншим спорудам. Уже на ранніх

стадіях планування виявляються слабкі місця подальшої якості сталості споруди. Ці аспекти мають враховуватися всіма процесами планування, зведення, господарського використання, щоб якість будівлі була забезпечена (новобудови), збережена (експлуатація) та покращена (стадія будівництва).

На етапі планування певну увагу приділено конкурсу архітекторів. У майбутньому сам процес конкурсу буде включати в себе – поряд із дотеперішньою постановкою питання щодо якості містобудування та дизайну – також аспекти екології, економіки, соціальної культури та функціональності. Так само необхідно оцінити екобаланс та вирахувати витрати життєвого циклу, а також визначити соціально-культурні питання як обов'язкові вимоги конкурсу проектів. Директива визначає головні критерії, що мають враховуватися у конкурсі і за допомогою яких можливий контроль виконання вимог до сталості на ранніх стадіях. Більш пізній контроль виконання висунутих вимог під час змагання має забезпечуватися за рахунок запропонованих та розроблених досягнень, результати мають відображатися у відповідних документах. Важливими аспектами є при цьому вагомість окремих критеріїв конкурсу по відношенню один до одного та склад спеціалізованого журі з урахуванням попередньої обізнаності з певними аспектами конкурсу. У сфері будівельних заходів на федеральному рівні планування та реалізація конкурсів здійснюються Федеральними будівельними управліннями.

Щоб більш ефективно порівнювати проекти потрібна система оцінки стійкого будівництва. По всьому світу розробляються системи оцінки та сертифікації будівель, які повинні пришвидшити екологічний та економічний розвиток. Таким чином, на сьогоднішній день існують численні системи – йдеться про системи першого покоління, за допомогою яких оцінюють вибіркові аспекти сталості на дуже високому рівні. До них відносяться, наприклад, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) у США з філіями у Канаді, Індії, Китаї та на Близькому Сході, або Green Star в Австралії; сюди відносяться також системи з широкими концепціями, як наприклад, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) у Великобританії, HQE (Haute Qualité Environnementale) у Франції, Minenergie у Швейцарії, Casbee у Японії та HK-Beam у Гонконзі. Для сприяння сталому будівництву дії у рамках міжнародної (ISO) та європейської (CEN) стандартизації були спрямовані на комплексне застосування з прив'язуванням до п'яти критеріїв якості сталості. Ґрунтуючись на цьому, у минулі роки були розроблені системи сертифікації другого покоління, за допомогою яких стійкість будівлі оцінюється за допомогою уніфікованої концепції аналізу. Останні представлятимуть у майбутньому інвесторам та проектувальникам не тільки широкий

огляд щодо сталого будівництва, але й інструменти, які мають спрощувати планування та реалізацію аспектів сталості.

Паралельно у Німеччині почали форсувати розвиток національної системи оцінки, яка ґрунтується на національних рамочних умовах, законах, стандартах тощо і яку тлумачать з точки зору будівництва у Німеччині. Після фази співпраці міністерства будівництва з Німецьким товариством енергоефективного, екологічного та відновлювального будівництва, яка тривала два роки, широкий громадськості змогли представити перше положення національних критеріїв сталості, включаючи методика оцінки та розрахунків. Ця система наслідуює уніфікованому положенню оцінки і бере до уваги життєвий цикл будівлі та широку квантифікацію.

Для сфери регулювання федеральних будівель з цієї системи була введена і вдосконалена система оцінки сталого будівництва – директива сталого будівництва, додатковий інструмент для просування сталого розвитку. Спочатку вона була введена із директивою як обов'язкова система для офісних та адміністративних будівель. Важливу базу створили численні науково-дослідні проекти, які фінансувалися за рахунок дослідницької ініціативи «Будівництво майбутнього». Система надає науково обґрунтований і побудований на плановій основі метод оцінки офісних та адміністративних будівель. Метою є опис та комплексна оцінка якості сталості будівель та конструктивних елементів. Завдяки цьому має здійснюватися висока оцінка за прозорими і об'єктивно відновлювальними правилами. Система є загальнодоступною на Інтернет-порталі www.nachhaltigesbauen.de. Система оцінки підтримує у першу чергу потреби федерального будівництва. Інші забудовники можуть добровільно застосовувати її для опису та оцінки якості сталості будівель та конструктивних елементів. При застосуванні за межами федерації або для інших типів будівель слід враховувати індивідуальні рамочні умови відповідної країни, кліматичну зону або тип будівлі і адаптувати до цього систему.

Зазвичай будівлею користуються дуже довго. Тільки за допомогою спостереження протягом усього життєвого циклу можна скласти враження про фактичну якість будівлі. Життєвий цикл будівлі складається зокрема з таких фаз:

- планування, видобування сировини (попередні етапи);
- виробництво будматеріалів, зведення будівлі;
- експлуатація, включаючи поточний ремонт та модернізацію;
- а також розбирання, утилізація та знищення відходів.

Метою сталого будівництва є оптимізація будівлі протягом всього її життєвого циклу. Йдеться про те, щоб мінімізувати витрати енергії та ресурсів, зменшити навантаження на довкілля та покращити загальну рентабельність. Традиційне планування будівель

обмежувалося до цього часу спостереженням за окремими аспектами, не враховуючи їх можливу взаємодію. Інтегральне планування, навпаки, включає в себе весь життєвий цикл будівлі, а складові планування поєднують з урахуванням взаємодії і раціонально їх доповнюють. Мета – досягти більш об'єктивованого та квантифікованого методу оцінки для порівняння варіантів різних проектів будівлі для забезпечення максимально можливої якості споруди з максимально низьким впливом на довкілля. Подальше або інше використання будівель або нерухомості має у порівнянні з новобудовами переваги в тому, що зазвичай необхідні значно менші енергетичні та матеріальні потоки у сфері застосування будівельних матеріалів. Використання існуючого фонду та цільовий поточний ремонт і модернізація з адаптацією до вимог користувача мінімізують споживання ресурсів і бережуть довкілля.

У ході оцінки виділяють п'ять груп головних критеріїв сталого будівництва: екологічна якість, економічна якість, соціально-культурна і функціональна якість, технічна якість і якість процесу. Хоча всі п'ять критеріїв якості тісно пов'язані між собою, їх оцінюють відповідно окремо і розраховують за визначеними ступенями важливості загальної оцінки. За рахунок цього можна окремо показати визначні критерії якості у багатьох сферах. За допомогою загальної оцінки можна об'єктивно представити та квантифікувати сталість будівлі, так що у подальшому можна буде провести порівняльну оцінку та сертифікацію будівель. Ознаки місцевості, на які планування має здійснювати тільки відносний вплив, оцінюються окремо від властивостей об'єкту і засвідчуються у вигляді додаткової інформації.

П'ять груп головних критеріїв точно визначені у системі оцінки (версія 2011): це 46 інформаційних листів з критеріями (Таблиця 42.1), їх можна порівнювати або оцінювати за допомогою кількісних величин. Оцінка вагомості критеріїв у межах вищої групи головних критеріїв здійснюється за принципом важливості мети захисту за допомогою фактору значимості від 1 до 3 (від найменшого до високого значення). Визначення факторів значимості здійснювалося у тісній координації з робочими групами Круглого Столу сталого будівництва міністерства. Інформаційні листи – певною мірою вказівки щодо дій при оцінці окремих критеріїв – можна розподілити по сутності своїй таким чином:

(A) Опис окремого критерію

- важливість та постановка мети;
- опис та коментар;
- оцінка
- базові дані та допомога при розрахунках, а також
- відношення до інших критеріїв

Таблиця 42.1.

Критерії оцінки будівель, споруджених на засадах сталого розвитку

Критерії сталого будівництва		Вагомість Окремих критеріїв Загальна оцінка	Фактор значення	Вагомість Групи головних критеріїв Загальна оцінка
Екологічна якість				22,5%
Вплив на глобальне довкілля				
1.1.1	Потенціал парникового ефекту (GWP)	3,375%	3	
1.1.2	Потенціал руйнування озонного шару (ODP)	1,125%	1	
1.1.3	Потенціал утворення озону (POCP)	1,125%	1	
1.1.4	Потенціал окиснення (AP)	1,125%	1	
1.1.5	Потенціал евтрофікації (EP)	1,125%	1	
1.1.6	Ризики локального довкілля	3,375%	3	
1.1.7	Відновлювальне видобування матеріалів / дерево	1,125%	1	
Використання ресурсів				
1.2.1	Потреба у первинній енергії, не відновлювальній (PE _{не})	3,375%	3	
1.2.2	Загальне потреба у первинній енергії і частка відновлювальної енергії (PE _е)	2,250%	2	
1.2.3	Потреба у питній воді та кількість стічних вод	2,250%	2	
1.2.4	Використання площ	2,250%	2	
Економічна якість				22,5%
Витрати життєвих циклів				
2.1.1	Пов'язані із будівлею витрати у життєвому циклі	13,500%	3	
Динаміка вартості				
2.2.1	Придатність до використання третіми особами	9,000%	2	
Соціально-культурна та функціональна якість				22,5%
Сукупність, стійкість та задоволення користувачів				
3.1.1	Тепловий комфорт узимку	1,607%	2	
3.1.2	Тепловий комфорт улітку	2,411%	3	
3.1.3	Гігієна внутрішніх приміщень	2,411%	3	
3.1.4	Акустичний комфорт	0,804%	1	
3.1.5	Візуальний комфорт	2,411%	3	
3.1.6	Вплив користувача	1,607%	2	
3.1.7	Ознаки життя у зовнішній зоні	0,804%	1	
3.1.8	Безпека і ризики несправностей	0,804%	1	

Таблиця 42.1. (продовження)

Критерії сталого будівництва		Вагомість Окремих критеріїв Загальна оцінка	Фактор значення	Вагомість Групи головних критеріїв Загальна оцінка
Функціональність				
3.2.1	Відсутність бар'єрів	1,607%	2	
3.2.2	Ефективність використання площі	0,804%	1	
3.2.3	Придатність до зміни використання	1,607%	2	
3.2.4	Доступність	1,607%	2	
3.2.5	Зручність для користування велосипедом	0,804%	1	
Забезпечення якості дизайну				
3.3.1	Дизайнерська та містобудівна якість	2,411%	3	
3.3.2	Мистецтво архітектури	0,804%	1	
Технічна якість				
Якість технічного виконання				
4.1.1	Звукоізоляція	5,625%	2	
4.1.2	Теплоізоляція та захист від талої води	5,625%	2	
4.1.3	Очистка та поточний ремонт	5,625%	2	
4.1.4	Розбирання, відокремлення та утилізація	5,625%	2	
Якість процесу				10,0%
Якість планування				
5.1.1	Підготовка проекту	1,429%	3	
5.1.2	Інтегральне планування	1,429%	3	
5.1.3	Комплексність та оптимізація планування	1,429%	3	
5.1.4	Відкриті конкурси та розміщення	0,952%	2	
5.1.5	Умови для оптимального господарського використання	0,952%	2	
Якість виконання будівельних робіт				
5.2.1	Будівельний майданчик/будівельний процес	0,952%	2	
5.2.2	Забезпечення якості виконання будівельних робіт	1,429%	3	
5.2.3	Системна задача в експлуатацію	1,429%	3	
Ознаки місця положення				0,0%
Ознаки місця положення				
6.1.1	Ризики мікрорайону	—	2	
6.1.2	Умови у мікрорайоні	—	2	
6.1.3	Ознаки житла	—	2	
6.1.4	Транспортна прив'язка	—	3	
6.1.5	Близькість до важливих у користуванні закладів	—	2	
6.1.6	Суміжні середовища / освоєння	—	2	

(B) Масштаб оцінки

(C) Додатки

- таблиця витрат на експлуатацію;
- законодавчі основи;
- пояснення понять;
- специфікації.

Окремим критеріям присвоюють бали за визначеними правилами. Загалом кожен критерій за максимальною оцінкою відповідно до приписів щодо розрахунків може набрати 100 балів, причому значення 100 завжди відповідає визначенню цільового значення. Групи головних критеріїв оцінюються відповідно окремо і за допомогою визначеної значимості зводяться до ступеню загального виконання, а отже до кінцевої оцінки. У документі оцінки результату представляють будівлі, а також показують як індивідуальну вартість, так і загальний результат. Залежно від присвоєного загального ступеню виконання будівлі можуть бути відзначені за рівнем якості бронзовим, срібним або золотим сертифікатом. Оцінка здійснюється аудитором і підлягає перевірці на відповідність. Постійне вдосконалення системи забезпечується завдяки адаптації каталогу критеріїв до фактичних результатів та шляхом змін узаконених правил, стандартів тощо. Публікацію здійснює Круглий Стіл та інформаційний портал Стале будівництво. Там можна поспілкуватися з контактними особами, ознайомитися із правилами проведення аудитів, перевірки відповідності та з документацією сертифікації і з процедурами підготовки аудиторів.

Обґрунтована оцінка та вибір будівельної продукції під час планування та ведення будівельних робіт є головним завданням для сталого планування, будівництва та експлуатації будівель, яке архітектори все частіше ставлять перед собою. Надання для цього необхідних даних було головною справою «ECOBIS 2000» – екологічна інформаційна система будівельних матеріалів, яку Баварська палата архітекторів у 2000 році змогла успішно впровадити на ринок у рамках спільного проекту з міністерством будівництва. З 2009 року WECOBIS надає користувачам ґрунтовні нові версії. Система пропонує спілкування в режимі Online широкими інформаційними та базовими джерелами. Окрім того, WECOBIS пропонує широкі, структуровано підготовлені, не прив'язані до виробника дані з санітарних та екологічних аспектів груп будівельної продукції. Система підтримує аналіз фаз життєвого циклу даними щодо вибору сировини, виробництва, переробки, використання та повторного використання. Всі ці дані входять до екологічної декларації продукції (Environmental Product Declaration – EPD).

Екологічні декларації продукції є прив'язаними до виробника даними щодо екологічного балансу – екологічного аналізу життєвого

циклу, які перевіряються незалежними третіми особами і тому є правдивим і надійним джерелом даних важливої для довкілля та здоров'я інформації про будівельну продукцію. У Німеччині контроль здійснюється Інститутом будівництва та довкілля e.V. (IBU). Ця системна і стандартизована база даних – сьогодні доступна для національної аудиторії – забезпечує екологічну оцінку будівлі, складену у системі модульного будівництва за допомогою декларацій окремих будівельних матеріалів. Споживання ресурсів та емісії у довкілля реєструються через загальний процес виробництва. Декларація свідчить про те, якою мірою певний продукт сприяє парниковому ефекту, окисленню, руйнуванню озонового шару та утворенню смогів, а також витратам енергії та ресурсів. Окрім того наводяться технічні властивості, які необхідні для оцінки будівельного матеріалу у споруді, наприклад, довговічність, тепло- та звукоізоляція або вплив на якість повітря у внутрішньому приміщенні. Середньостроковою є підготовка гармонізації EPD для європейського простору.

Завдяки розробці першої німецької бази даних для будівельних матеріалів з метою визначення глобального впливу на екологію (Ökobaude), існує уніфікована база даних для екологічної оцінки будов. У рамках проекту Будівництво майбутнього науково-дослідний інститут за підтримки Німецької будівельної промисловості створив численні блоки даних для подальшої інтеграції у існуючі інструменти калькуляції життєвого циклу. За допомогою так званих таблиць стилів сьогодні описані приблизно 650 будівельних матеріалів або будівельних і транспортних процесів з точки зору їх впливу на довкілля. Кожен блок даних містить поряд з екологічними даними висловлювання щодо вихідних даних, як то одиниці вимірювання, термін дії, якість даних тощо.

§43. Застосування теплоізоляційних матеріалів в будівництві на засадах сталого розвитку

Світова енергетична криза підштовхнула проєктантів та будівельників багатьох країн до широкого використання різних фасадних систем для утеплення огорожуючих конструкцій як нових, таких, що будуються, так і існуючих (старих) будівель. В деяких країнах, як, наприклад, в Німеччині, однією з основних оцінок проєкту будівлі є її енергоефективність. В Україні, на жаль, рівень енергозбереження був і залишається значно нижчим, ніж в країнах Західної Європи. При цьому біля 40% від загальної потреби енергії припадає на житловий сектор. Значна частина людей проживає в багатоквартирних панельних будинках. В деяких містах доля

будівель із зібраних залізобетонних панелей – цього за оцінками спеціалістів найменш енергоефективного матеріалу – сягає 80%! Теплоопір таких будинків знаходиться в межах 0,9 – 1,2 м² К/Вт, що в 3 – 5 разів нижче нормативних вимог. Це величезна проблема нашої країни, а також виклик всім, хто працює в будівельній галузі.

Копенгагенський кліматичний саміт (2009) підтвердив нагальність створення енергоефективних будівель. Данія та Швеція широко розрекламували на ньому свої «зелені» технології в будівництві. Ці держави активно експериментують в сфері екологічної забудови і вже переганяють сьогоднішніх лідерів – Німеччину та Англію. Шведські котеджі нового покоління типу «Вілла Акарп», що збудована в енергоефективному котеджному містечку «Стенлесе Південь», виробляють енергії більше, ніж використовують. Такі проекти дають уяву про те, як на думку шведів та данців повинні виглядати будинки «поствуглеводневої» епохи. Використання:

- потужної зовнішньої та внутрішньої теплоізоляції, енергоефективних вікон, усунення містків холоду тощо за принципом «пасивного будинку»;

- теплообмінників – рекуператорів, що забирають тепло з повітря, яке виходить з будинку через систему вентиляції;

- теплових насосів, які з 1 кВт використаної електроенергії виробляють 3 – 4 кВт для опалення;

- сонячних батарей тощо,

робить будівництво приблизно на 10% дорожчим, але повинно окупитись за розрахунками шведів при сьогоднішніх цінах на енергоресурси за 15 років.

З відомих способів підвищення теплоопору огорожуючих конструкцій будівель найбільш прогресивними технологіями справедливо вважаються багат шарові фасадні системи зовнішнього утеплення, які можна структурно поділити на мокрі, системи скріпленої теплоізоляції, навісні вентилязовані та навісні не вентилязовані.

Німецька фірма «Кнауф» – відомий лідер у виробництві будівельних матеріалів для систем сухого будівництва, тобто – для внутрішнього оздоблення приміщень. Але не всім відомо, що спеціалістами фірми, розроблено та впроваджено в виробництво всі види фасадних систем, як мокрих, так і навісних вентилязованих та не вентилязованих. Це стало можливим тому, що в сім'ю підприємств Кнауф влились такі відомі виробники теплоізоляції як «Кнауф ла Ренан» (пінополістирол), «Алькопор» (мінеральна та скловата) – сьогодні «Кнауф Інсулейшн», «Ріоліт» – сьогодні «Кнауф Демштоффе», «Геракліт», «Кнауф Марморіт» та “Knauf USG Systems”.

В зв'язку з енергетичною кризою для зменшення енерговитрат багатьма підприємствами були розроблені порівняно недорогі, зовні ефективні мокрі фасадні системи на основі місцевих будівельних матеріалів. Це штукатурні склади з підвищеними теплоізоляційними властивостями, які виготовляються в вигляді сухих сумішей. Фірма Кнауф – відомий виробник сухих будівельних сумішей на основі гіпсу – розширила свій асортимент складами на базі цементу, розроблених та введених в виробництво фірмою «Марморіт».

Певний інтерес за нашою тематикою викликає комплект для будівництва зовнішніх огорожуючих конструкцій з підвищеними теплоізоляційними властивостями, який повністю відповідає вимогам ДБН В. 2.6.-31-2016 «Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель» і пропонується на ринку під торговою маркою «Кнауф – тепла стіна». В системі Кнауф – тепла стіна I в якості ізоляційної плити використовується пінополістирол, а в системі Кнауф – тепла стіна II – мінераловатні плити.

Вибір плити (пінополістирольна або мінераловатна) залежить від конкретних умов і вимог до будівництва. Екструзійний пінополістирол – сучасний, досить міцний, довговічний (до 50 років), екологічно безпечний утеплювач з низькими показниками водопоглинання (0,012 – 0,014 %). Основним недоліком пінополістиролового утеплювача вважається його горючість і токсичність продуктів горіння. Мінераловатні утеплювачі, навпаки, негорючі, довговічні, але мають високе водовбирання, тому при використанні такий утеплювач повинен бути надійно захищений від вологи (зволожена мінераловатна плита в значній мірі втрачає свої ізолюючі властивості).

Гарантія довговічності (до 20 років) та надійності Кнауф – теплої стіни у процесі експлуатації будівлі забезпечується тільки в результаті повного дотримання розробленої технології її влаштування.

Великий інтерес у будівельників викликала новинка від Кнауф на ринку будівельних матеріалів України – цементна плита «аквапанель», розроблена фірмою “Knauf USG Systems” для зовнішнього оздоблення фасадів. Внутрішній шар панелі виготовлений з портландцементу та легких наповнювачів, облицьований скловолокном з лицьової та тильної сторін. Товщина плити – 12,5 мм (як і гіпсокартону), ширина 900 мм, довжина 1,2; 2,4; 2,5 м, маса – 16 кг/м². «Аквапанель» – результат значного прогресу в області виготовлення плит з легкого бетону – використовується для облицювання фасадів і є чудовим довговічним матеріалом, що надійно служить в екстремальних погодних умовах (вітер, дощ, сніг). Основні властивості «аквапанелі» – це висока вологостійкість (не набухає і не ламається) і надійність при циклах замерзання –

відтанення. Фірма Кнауф поставляє комплектні системи облицювань на основі «аквапанелі», в тому числі і для улаштування вентилязованих фасадів, з набором різноманітних покриттів поверхонь.

Коефіцієнт теплопровідності «аквапанелі» становить 0,27 Вт/мК, що дає змогу при її використанні навіть без допоміжної теплоізоляції (пінополістирольна або мінераловатна плита) збільшувати теплоопір огорожжучих конструкцій на 25 – 30%, а монтаж «сухої цементної штукатурки» економить до 50% робочого часу будівельників в порівнянні з традиційними мокрими процесами облицювання.

Існує думка, що теплоізоляція огорожжучих конструкцій повинна виконуватись тільки зовні. Влаштування системи ізоляції на основі гіпсокартону та плитних або рулонних теплоізоляційних матеріалів усередині приміщення має неодмінно привести до появи конденсованої вологи на холодній зовнішній стіні в результаті дифузії водяної пари через гіпсокартон та утеплювач, а отже – до появи грибка, плесені і, можливо, до пошкодження самої зовнішньої конструкції.

Це дуже слушне застереження, тому що будівельники нерідко зустрічались з такими випадками на практиці. Сухе будівництво – доволі молодий вид будівництва (в нашій країні всього 60 років тому випустили перші гіпсокартонні плити), тому достатнього досвіду у правильному використанні плитних матеріалів просто не існує. В Німеччині вперше спробували систематизувати причини негативних явищ у книзі «Дефекти у сухому будівництві. Розпізнавати та уникати», що вийшла з друку в Кельні у 2006 році. Авторський колектив під керівництвом Т. Брінкмана проаналізував 14 конкретних випадків пошкоджень конструкцій сухого будівництва та їх причини. Серед них і поява конденсованої вологи та плісняви у порожнині між гіпсокартоном та зовнішньою стіною із-за непрофесійного монтажу системи теплоізоляції.

Чи треба відмовлятися із-за цього від внутрішньої ізоляції зовсім? Це неможливо як мінімум з трьох причин. По-перше, існує багато старих будівель, які є пам'ятками архітектури, і фасади яких неможливо утеплити системою зовнішньої ізоляції. А альтернативи сухому будівництву для розбудови горищних та мансардних приміщень, утеплення підвальних та напівпідвальних приміщень просто не існує.

По-друге, тенденції розвитку архітектурних типів будівель та споруд, боротьба за екологічність будівництва, подорожчання енергоносіїв, підвищення норм енергоефективності споруд привели до виникнення так званих «зелених» технологій та «пасивних» будинків, енергопотреба яких для опалення не перевищує 15 кВт·год/м² на рік. Це в 5 – 10 разів менше, чим в середньому для

сьогоднішніх помешкань і це неможливо досягти без внутрішньої теплоізоляції.

По-третє, існують і вже пройшли апробацію в енергоефективних будинках в Німеччині та в деяких північноєвропейських країнах надійні системи внутрішньої теплоізоляції, які запобігають появі негативних факторів (вологи, плесені, грибків).

Вирішуючи питання внутрішньої ізоляції сухим способом, потрібно розуміти, що це не є простим рішенням. Таку теплоізоляцію треба серйозно спланувати, взявши до уваги всі негативні фактори, та ретельно і добросовісно виконати належні заходи. Особливу увагу треба приділити контролю виконання прихованих робіт. Перед виконанням робіт для забезпечення внутрішньої ізоляції спочатку слід перевірити дотримання таких двох умов: чи існує висхідна вологість та чи можна віднести фасад, який слід ізолювати, до групи сильних дощових навантажень. Якщо це так, то процеси зволоження зовнішніх стін треба припинити. Всі заходи виявляться марними, якщо фасад не має вологовідштовхувальних властивостей. Дотримання цієї умови не пов'язано з внутрішньою ізоляцією, оскільки фасад, поверхня якого віднесена до групи сильних дощових навантажень, який не відштовхує воду, зазнає значного ризику надмірного просочення вологою, що може призвести до пошкодження будівлі, порушення гігієнічних житлових умов та негативного впливу інших чинників.

Зрозуміло, що необхідно ліквідувати також інші причини утворення підвищеної вологості (протікання покрівельних жолобів або санітарно-технічних, опалювальних та каналізаційних трубопроводів). Ці вимоги також необхідно обов'язково виконати в разі реконструкції старої будівлі. Лише в разі дотримання обох вищенаведених умов (ліквідація висхідної вологи та водовідштовхувальне покриття фасаду) внутрішня ізоляція може бути ефективнішою, ніж відсутність ізоляції взагалі, після чого можна приступати до ретельного планування і кваліфікованого виконання робіт.

Для планування ефективної внутрішньої ізоляції необхідно дотримуватись двох основних критеріїв: створення повітронепроникної конструкції та мінімізація дифузії водяної пари. Під впливом потоку нормального повітря в приміщенні взимку за конструкцією внутрішньої ізоляції відбувається масоване зволоження старої стінової конструкції в напрямку від старої внутрішньої поверхні. Повітря в приміщенні за ізоляційною конструкцією (внаслідок низької температури) має екстремально високу відносну вологість, що призводить до рівноважного стану з дуже високою вологістю матеріалу в цій зоні. Оскільки в разі утворення конвекційного потоку між стіною та ізоляційною конструкцією

відбувається постійне надходження вологи, це означає майже гарантоване ушкодження поверхні незалежно від обраного варіанта ізоляційної конструкції. Конструкція ізоляції має бути стійкою до впливу потоку повітря приміщення за нею та протягом тривалого періоду повітронепроникною з боку приміщення.

Високий парціальний тиск водяної пари, характерний для повітря в приміщенні взимку, може не лише внаслідок конвекції, але також внаслідок дифузії водяної пари призвести до транспортування вологи до старої стінової конструкції, розташованої за шаром внутрішньої ізоляції. Всупереч дуже поширеній наразі думці, дифузія водяної пари дуже ймовірно може призвести до пошкодження будівлі. Кількість вологи, транспортованої шляхом дифузії, виявляється, зокрема, набагато меншою, аніж кількість вологи, внесеної шляхом конвекції; якщо, наприклад, не облицьований зсередини приміщення ізоляційний шар із мінеральної вати завтовшки 20 мм наноситься безпосередньо на не ізольовану ззовні бетонну стіну, внаслідок дифузії (при вологості повітря в приміщенні 50%) може відбуватися транспортування більше ніж півлітра води на день на один квадратний метр. Розміщення гіпсокартонної плити з боку приміщення та збільшення ізоляційного шару дозволяють зменшити це значення (при товщині шару 80 мм + гіпсокартонна плита – до 67 г/м²/доба), але навіть у цьому разі залишається ризик пошкодження будівлі, навіть з урахуванням буферної спроможності конструкції утримувати вологу та капілярного відведення вологи в зовнішню стіну. Тому потенціальну можливість пошкоджень під впливом води, яка потрапляє в приміщення шляхом дифузії з повітря, слід також сприймати серйозно і ліквідувати її, обираючи ефективні рішення.

Це рішення ґрунтується на «класичних засадах»: дифузія водяної пари зсередини назовні припиняється з теплового боку (паронепроникний бар'єр) або принаймні значно гальмується (гальмування паропроникнення) з метою захисту холодної конструкції в зоні поза внутрішньою ізоляцією від шкідливого впливу вологи. Це рішення витримало випробування протягом кількох десятиріч в тисячах реалізованих на практиці варіантів, почасти навіть у дуже складних умовах. В особливо складних умовах в зв'язку з високою вологістю, наприклад, будівлях плавальних басейнів, вже кілька десятиріч успішно застосовуються внутрішні ізоляційні конструкції з абсолютним паронепроникним бар'єром (із тонких алюмінієвих пластин).

Дослідження німецьких вчених інституту «пасивного будівництва» в м. Дармштадті різних систем внутрішньої теплоізоляції підтвердили високу ефективність заощадження енергії для типових старих будівель: без ефективних заходів споживання енергії об'єктами

залишається на рівні 240 кВт·год/м² на рік. Якщо однозначно виключити можливість влаштування ізоляції зовнішніх стін, але послідовно застосовувати для цього найкращі наявні в розпорядженні компоненти (зокрема, компоненти «пасивного будинку»), потребу в енергії для опалення не можна зменшити навіть удвічі (споживання залишається на рівні 140 кВт·год/м² на рік). Причина полягає в тому, що на зовнішні стіни старих будівель, які належать до житлового фонду Німеччини, припадає абсолютно домінуюча частина втрат тепла; це обумовлено як відносно великою площею, так і значними коефіцієнтами тепловтрат, характерними для старих будівель. Завдяки застосуванню високоякісної внутрішньої ізоляції разом із компонентами «пасивного будинку», для всіх інших конструктивних елементів та оснащення можна досягти рівня споживання тепла для опалення близько 55 кВт·год/м² на рік. Це відповідає зменшенню витрат у 4 рази.

Таким чином, у разі дотримання умов, при яких відсутній особливо інтенсивний вплив вологи, ретельного планування (деталізований повітронепроникний шар, зменшення утворення містків холоду в місцях примикання конструктивних елементів і система захисту від дифузії водяної пари) та кваліфікованого виконання робіт (повітронепроникні місця примикання, відсутність неізольованих місць, конструкція гальмівних шарів для водяної пари та капілярно-активна ізоляція, котра відповідає обраній концепції) внутрішня ізоляція є кращим варіантом, аніж відсутність ізоляції взагалі, тому що вона збільшує комфортність помешкання та забезпечує значну економію енергії, в тому разі, якщо зовнішня ізоляція є неможливою.

§44. Шляхи підвищення енергоефективності будівель

Згідно директиви Євросоюзу з 2021 року всі житлові новобудови повинні стати «енергопозитивними» будинками. Цей термін означає, що такі будинки виробляють енергії більше ніж споживають. Яким чином можливо досягти таких результатів? Концепція енергопозитивного будинку полягає в зменшенні енерговитрат завдяки використанню сучасних будівельних матеріалів для ефективної теплоізоляції з одного боку, та у використанні альтернативних джерел енергопостачання (сонячні батареї, колектори, теплові насоси тощо) – з іншого. Розглянемо деякі приклади використання будівельних матеріалів для влаштування ефективної теплоізоляції та латентного акумулювання тепла в будинку майбутнього.

Керуючись директивами Євросоюзу Федеральне міністерство будівництва ФРН виділило 34 млн. євро на науково-дослідницьку ініціативу «Будівництво майбутнього», яка стартувала в 2006 році. В рамках цієї ініціативи проводяться численні семінари та конгреси, обмін досвідом та публікація результатів досліджень на сторінках часопису «Будівництво майбутнього» (“Zukunft Bauen”), створено пересувний виставково – інформаційний павільйон. Виставкова споруда – це приклад енергопозитивної оселі, створеної архітектурним бюро «Хеггер, Хеггер та Шлейф» (Дармштадт, ФРН).

Енергопозитивна оселя Федерального міністерства будівництва – прототипний демонстраційний зразок ініціативи «Будівництво майбутнього». Вона поєднує в собі як технічні, так і організаційні інновації та виробляє енергії більше ніж споживає сама. Задумана як пересувна виставка, «оселя» протягом 2009 – 2015 рр. демонструвалася у великих містах Німеччини.

Демонстрацією своєї енергопозитивної оселі міністерство агітує за впровадження перспективних технологій будівництва. Виставкова споруда інформує громадськість про всі аспекти енергоощадливого та екологічно раціонального («сталого») будівництва та наочно демонструє інноваційні можливості оформлення приміщень.

Ґрунтуючись на цілях, які переслідує політика федерального уряду в області енергетики та клімату, міністерство в 2007 році взяло на себе патронат над участю Німеччини в конкурсі «Сонячне десятиборство» (Solar Decathlon), який відбувався у Вашингтоні, округ Колумбія, США. Перемогу на цьому конкурсі здобув розроблений в Дармштадтському технічному університеті під керівництвом професора Манфреда Хеггера (Manfred Hegger) проект енергопозитивної оселі. Енергопозитивна оселя в рамках ініціативи «Будівництво майбутнього» побудована за зразком цієї моделі-переможниці, технічні характеристики якої наведені в Таблиці 44.1.

Несуча конструкція енергопозитивної оселі поєднує в собі дерев'яні личкувальні панелі. Виходячи з бажаних значень енергоефективності будівлі, до фасаду, підлоги та даху пред'являються високі пасивні вимоги щодо власної теплоізоляції. Усі непрозорі (закриті) елементи конструкції захищені вакуумними теплоізоляційними панелями (скорочено VIP – від англ. Vacuum insulated panel) загальною товщиною лише 6 см (два шари по 3 см) – новим, інноваційним ізоляційним матеріалом. Цей вискоефективний матеріал складається з пористої серцевини, (наприклад, поліуретанова піна), яка, окрім іншого, є утримуючим елементом для оболонки високої щільності, яка запобігає потраплянню газів всередину вакуумної панелі. Певним недоліком цього високотехнологічного будівельного матеріалу, який з'явився на ринку всього декілька років назад, є його чутливість до пошкоджень. Його

не можна різати, а значить в багатьох випадках потрібно виготовляти під замовлення. Не можна його і свердлити або забивати в нього цвяхи – все це приведе до різкого зменшення його ізоляційних властивостей. Тому вакуумні панелі не рекомендується використовувати для внутрішньої ізоляції.

Таблиця 44.1

**Технічні характеристики енергоефективного будинку
(демонстраційний зразок ініціативи «Будівництво майбутнього»)**

1	Загальна площа:	117 м ²
2	Корисна площа:	89 м ²
3	Будівельний об'єм:	350 м ³
4	Питомі тепловитрати:	16,0 кВт-год/м ² а
5	Вентиляція:	Природна припливно-витяжна вентиляція Примусова вентиляція (до 3,5 крат/год) (рекуперація тепла >80%)
6	Гаряче водопостачання:	Плаский колектор: (~ 3 м ²) Теплонасос Бак-акумулятор (200 л)
7	Опалення/кондиціонування:	Повітряний / водний теплонасос (комбінована компактна вентиляційна установка) Теплопродуктивність: ~ 4,2 кВт

При порівнянні споживних властивостей вакуумних панелей з традиційними ізоляційними матеріалами (Таблиця 44.2) виявляється, що при найменшій можливій товщині матеріалу (шести сантиметрова вакуумна панель відповідає шару мінеральної вати завтовшки 60 см) можливо досягти значних ізоляційних результатів. Стіни енергопозитивної оселі при загальній товщині лише 26 см досягають виняткового значення коефіцієнту теплопередачі в 0,1 Вт/м К.

Зовні стіни личкуються цементними плитами (наприклад, «Аквапанель» компанії Кнауф) та додатково захищаються обшивкою типу «жалюзі» з фоточутливими елементами, яка домінує в конструкції. На пласкому даху, відведення води з якого відбувається завдяки нахилу ізоляційного покриття та багатошаровому гідроізоляційному матеріалу з герметизованими стиками, розміщуються колектори сонячної теплової енергії (яка використовується для нагрівання води) та фотоелектричні сонячні батареї (для виробництва електроенергії).

Енергоакуюлюючі речовини (матеріали зі змінюваним фазовим станом – PCM, від англ. Phase changing material), які включено до складу гіпсокартонних плит стін та стелі, служать для забезпечення комфортного внутрішнього клімату в приміщенні. Такі речовини

акумулюють як сонячну енергію, так і надлишкове тепло, яке виробляється всередині приміщення, а з часом за потреби віддають його назад. Цей новітній матеріал використовується переважно в легких конструкціях, замінюючи собою відсутні в них товсті стіни, які зазвичай і виконують функцію акумулятора тепла.

Таблиця 44.2

Споживні властивості деяких теплоізоляційних матеріалів

№	Матеріал	Мінеральна вата	Пінополістирол	Піноскло	Целюлоза	Вакуумна панель
	Властивості					
1	Теплопровідність, Вт/м·К	0,035	0,035	0,04	0,04	0,004
2	Горючість	НГ	ГЗ	НГ	ГЗ	Г1
3	Вплив на здоров'я людини	Можливо негативний	Нейтральний	Нейтральний	Нейтральний	Нейтральний
4	Енерговитрати при виготовленні	Високі	Високі	Високі	Низькі	Високі
5	Можливість утилізації	Ні	Так	Так	Так	Ні
6	Водопоглинання	Велике	Немає	Немає	Велике	Немає

Енергоакумулюючі речовини (PCM) або будівельні матеріали, до складу яких входять такі речовини, отримали назву латентних накопичувачів тепла. Оскільки відновлювальна енергія не завжди є у необхідний момент, то акумулювання тепла стає ключовою функцією, наприклад, для того, щоб консервувати нічну прохолоду з метою охолодження приміщення вдень, або відкладати використання надлишку тепла до ночі. Навіть звичайна холодильна техніка може стати у пригоді у разі необхідності накопичення. Наприклад, шляхом відкладання виробництва холоду на холодні нічні години. Це сприяє підвищенню енергоефективності, ощадливості, і навіть більш стійкій роботі електромережі (перевантаження мережі влітку в результаті роботи кондиціонерів).

На відміну від прямого (чутливого) накопичення тепла при латентному (прихованому) накопиченні зібрана енергія змінює агрегатний стан середовища, не підвищуючи його температуру. Цей феномен видно на прикладі кубиків льоду у воді: вони зберігають температуру води 0°C, доки самі повністю не розтануть. Енергетичні витрати при зміні фаз дуже високі: кількості енергії, яка змушує лід розтавати, достатньо, щоб нагріти відповідну кількість води від 0 до 80°C.

Рис. 1. Будова даху

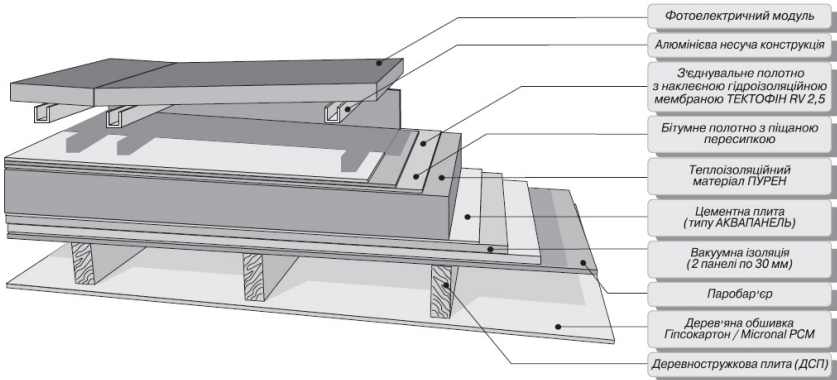


Рис. 44.1. Будова даху енергопозитивної оселі, створеної архітектурним бюро «Хеггер, Хеггер та Шлейф»

На практиці застосовується в першу чергу фазовий перехід лід/вода, оскільки при фазовому переході лід/газоподібна речовина виникають великі зміни об'єму і тиску середовища накопичування. Звичайно, тільки деякі продукти знайшли своє застосування на ринку. Головними проблемами є довготривала стабільність PCM, необхідність їх пакування або капсулювання, а також висока ціна у порівнянні із чутливими накопичувальними матеріалами (наприклад, вода). Суміші вода/лід як PCM при 0°C розповсюджені здебільшого в азіатській місцевості для акліматизації будівель. Зокрема, у Японії з її високим обсягом електроенергії, що виробляється атомними станціями, повільно регулюється і тому особливо дешевий уночі, надлишковий струм застосовується для виробництва льоду. Протягом дня лід використовується для роботи кондиціонерів. Що стосується будівельної продукції, то за придатною температурою до цього часу застосовувалися, головним чином, два класи матеріалів: органічні парафіни та неорганічні гідрати солі. Ключовою технологією на шляху до застосування є мікрокапсулювання, яке до сьогодні достатньо добре реалізувалося тільки з парафінами і сприяє простій інтеграції PCM у різні продукти, наприклад, у гіпсокартон.

Під товарним знаком Micronal PCM фірма BASF продає мікрокапсульовані теплоакуючі порошки з парафінів, що не містять формальдегіду. Завдяки температурам плавлення між 21°C і 26°C залежно від продукту їх температурний діапазон спеціально узгоджений із метою застосування у будівлі. Завдяки мікрокапсулюванню (діаметр капсул 5 мкм) латентні теплові

акумулятори відносно легко інтегрувати безпосередньо у будівельну продукцію. Їх майже неможливо зруйнувати механічно, так що кінцеві продукти можна обробляти звичайними методами (свердлити, пиляти тощо). Зміна фаз ззовні непомітна, зміна об'єму при плавленні відбувається у кожній капсулі окремо. Будівельні матеріали Micronal-PCM не змінюють розміри навіть при температурних коливаннях. Іншою перевагою BASF називає швидкий теплообмін завдяки вдалому співвідношенню поверхня-об'єм. Один грам мікрокапсул Micronal PCM має питому поверхню загалом 30 м². Micronal PCM пропонує компанія BASF у формі порошку та дисперсій з різними температурами плавлення. Латентна теплоємність знаходиться у діапазоні 37 – 45 кДж/кг (дисперсії) або 90 – 130 кДж/кг (порошки), загальна накопичувальна здатність складає 51 – 95 кДж/кг (дисперсії) або 125 – 145 кДж/кг (порошки).

Рис.2. Будова стіни

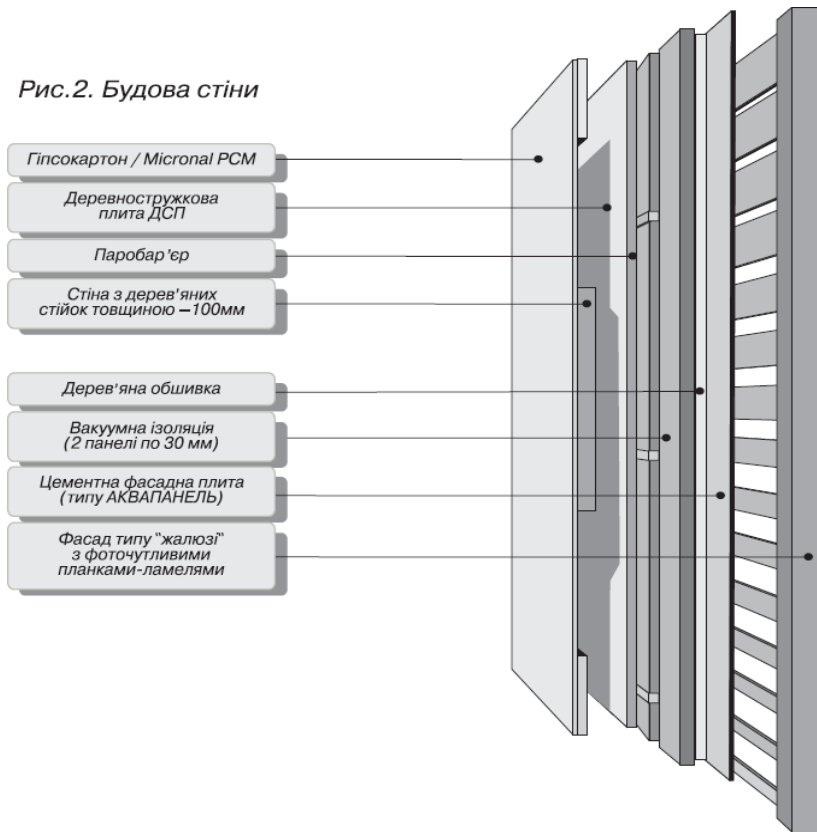


Рис. 44.2. Будова стіни енергопозитивної оселі, створеної архітектурним бюро «Хеггер, Хеггер та Шлейф»

У будівлях застосовують РСМ, щоб підвищити термічну теплоємність. Таким чином, будівля нагрівається протягом дня значно повільніше, що зменшує споживання енергії для охолодження або в оптимальному випадку повністю заміняє її. Надлишкове тепло накопичується в процесі плавлення і виділяється тільки тоді, коли не досягається температура плавлення. Загальний енергообмін з приміщенням здійснюється пасивно і не потребує додаткової енергії або техніки для автоматичного управління. РСМ забезпечують покращення комфорту споживачів при зменшених або щонайменше незмінних енергетичних затратах. Вимірювання у збудованих спорудах показали, що цілком можливі зниження або підвищення температур до 4°C. Однак точні величини (а також економія енергії) значним чином залежать від індивідуальних умов в будівлі.

В оптимізованій, інноваційній енергосистемі, яка працює на принципах синергії елементів конструкції та інженерних систем, велике значення має повноцінна та розумна взаємодія окремих підсистем. Якщо розглядати будівлю як комплексну систему, то необхідно вже на стадії проектування передбачати важливі параметри (використовувані будівельні матеріали та технології), які б забезпечили тривалий внутрішній комфорт та енергоефективність без залучення додаткових засобів. І лише в тому випадку, коли пасивні заходи виявляються недостатніми для забезпечення бажаного комфорту в жилomu приміщенні, їх можна буде доповнити такими активними системами як сонячні батареї, сонячні колектори, рекуператори тепла в системі вентиляції, теплові насоси тощо.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Дайте визначення «сталому розвитку».
2. Які органи та інструменти використовує федеральний уряд Німеччини для забезпечення політики сталого розвитку?
3. Що таке життєвий цикл будівлі?
4. Дайте визначення головних критеріїв сталого будівництва.
5. Що таке внутрішня теплоізоляція сухим способом?
6. Дайте визначення «енергопозитивної» оселі.

Рекомендована навчально-методична література

1. Довідник по ринку матеріалів для внутрішнього оздоблення приміщень. Під загальною ред. Проф. Захарченка П.В. – Київ: ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури», 2018.
2. www.nachhaltigesbauen.de
3. Wege zum Effizienzhaus Plus. BMUB, Berlin, 2014. – 50 S.

РОЗДІЛ X.
**МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ**

§ 45. Загальні вимоги

Перелік випробувань, необхідних для визначення якісних показників теплоізоляційних матеріалів, а також порядок відбору середніх проб визначаються відповідними державними стандартами або технічними умовами на ці матеріали.

Якість теплоізоляційних матеріалів контролюється на усіх стадіях виробництва, починаючи від вхідного аналізу сировини та матеріалів і закінчуючи випробуваннями готової продукції на відповідність нормативним показникам.

Контроль сировини та матеріалів здійснюється відповідно ГОСТ 242-87.

Теплоізоляційні матеріали мають відповідати вимогам діючих в Україні нормативних документів, виготовлятися відповідно до технологічної документації та рецептур, що погоджені із відповідними органами МОЗ України.

Маркування виробів наноситься на етикетку або на упаковку. Маркування повинне містити наступну інформацію:

- найменування виробу або інший спосіб ідентифікації;
- найменування або товарний знак, юридична адреса виробника або його уповноваженого представника;
- зміна або дата виготовлення, і завод-виробник або код простежуваності;
- клас реакції на вогонь;
- номінальне значення термічного опору;
- номінальне значення теплопровідності;
- номінальна товщина;
- вид можливого каширування;
- номінальна довжина і ширина;
- кількість у штуках і загальна площа в упаковці.

Для SE маркування та етикетування – є окремі вимоги, які регламентуються відповідними стандартами на теплоізоляційні матеріали.

Маркування. Споживча та транспортна тара мають містити наступні дані:

- *найменування, товарний знак та адресу підприємства' виробника;*
- *найменування, марку та призначення продукції;*
- *номер партії;*

- масу нетто;
- дату виготовлення (число, місяць, рік);
- маніпуляційний знак «Зберігати від вологи» за ГОСТ 14192'77;

- гарантійний термін зберігання;
- умови зберігання;
- позначення нормативної документації.

Комплектність та упакування. В комплект поставки входять:

- теплоізоляційний матеріал;
- інструкція щодо застосування продукції.

Плити теплоізоляційного матеріалу постачаються упакованими в транспортні пакети або в неупакованому вигляді. При формуванні пакету його висота має не перевищувати 0,9 м. Кожний пакет має вміщувати вироби однієї марки та розмірів. В якості засобів пакування слід використовувати матеріал, що має розривне навантаження не менш ніж 200 Н.

Правила приймання. Теплоізоляційні матеріали приймаються партіями. Партією вважається добовий випуск продукції одного типу, марки, однакових номінальних розмірів з сировини однієї марки. Партія продукції супроводжується одним документом щодо якості, який містить:

- найменування, товарний знак та адресу підприємства виробника;
- найменування продукції та номер партії;
- марку і тип виробів;
- кількість виробів у партії;
- результати проведених випробувань або підтвердження відповідності якості продукції вимогам нормативної документації;
- позначення даного стандарту;
- штамп ВТК.

Для контролю якості продукції, а також стану маркування, упакування, комплектності, маси нетто проводяться приймально-здаточні та періодичні випробування відповідно до переліку показників, що визначені нормативною документацією.

Періодичні випробування проводяться після отримання позитивних результатів приймально-здаточних випробувань. При отриманні незадовільних результатів приймально-здаточних та періодичних випробувань хоча б за одним показником проводяться повторні випробування цього показника на подвоєній кількості виробів, що є остаточними та поширюються на усю партію.

Споживач має право проводити контрольну перевірку продукції відповідно вимогам нормативного документу.

Відбір зразків. Для перевірки продукції щодо відповідності вимогам нормативної документації проводять відбір зразків. Для

перевірки відповідності продукції вимогам нормативного документу щодо лінійних розмірів, забезпечення геометричної форми та зовнішнього вигляду від партії об'ємом 200 м³ відбирається 10 зразків; від партії об'ємом більш ніж 200 м³ — 20 зразків.

Для перевірки фізико-механічних показників відбирається 3 зразки з 10 або 5 з 20, що пройшли перевірку щодо лінійних розмірів, забезпечення геометричної форми та зовнішнього вигляду.

Перед початком випробувань матеріали повинні протягом 3 годин бути витримані в приміщенні, в якому будуть проводитися випробування при температурі 20 ± 2 °С.

Розміри зразків, виготовлених з виробів, вимірюють з точністю до 1 мм.

До постійної маси зразки висушують в сушильній шафі при температурі 105...110 °С до моменту, коли різниця в часі між двома останніми зважуваннями не буде перевищувати 0,1% (зразки виготовлені з пінопластів та гіпсовмісних матеріалів треба висушити при температурі 50...60 °С).

За результат випробування приймають середньоарифметичне значення "X" паралельних визначень, яке розраховується для кожного виробу або пакувальної одиниці, що потрапили в вибірку, за формулою:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (45.1)$$

- X_i — результат і'го випробування;
- n — число результатів випробувань зразків (проб), що відібрані від одного виробу (пакувальної одиниці).

Результати вимірювань або випробувань повинні бути внесені в протокол випробувань, в якому вказують:

- найменування матеріалу або виробу;
- позначення нормативного документа, по якому виготовляють матеріал або виріб;
- дату виготовлення;
- номер партії;
- номінальні розміри;
- вид і дату випробування;
- позначення стандарту;
- кількість зразків, які піддали випробуванню;
- значення кожного паралельного визначення;
- середні арифметичні значення показників;
- назву і адресу лабораторії, в якій проведені випробування;
- посади і прізвища осіб, що проводили випробування.

§46. Визначення густини

46.1. Визначення густини плоских, фасонних і шнурових виробів

ДСТУ Б EN 1602 Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення уявної густини

Обладнання, прилади та інструменти: шафа сушильна, ваги технічні, лінійка металева за ГОСТ 427, рулетка металева за ГОСТ 7502, штангенциркуль за ГОСТ 166, товщиномір голчастий (рис. 43.1.).

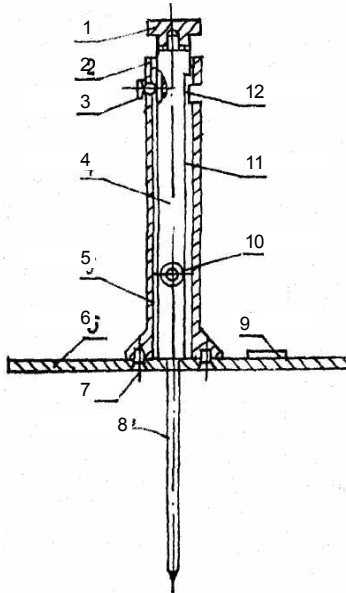


Рис. 46.1. Товщиномір голчастий: 1 — ручка; 2 — втулка; 3 — затисний гвинт; 4 — вставка; 5 — корпус; 6 — основа; 7 — кріпильний гвинт; 8 — голка; 9 — табличка; 10 — кріпильний гвинт; 11 — шкала; 12 — скло

Густину визначають на зразках або на виробих, в яких відхилення від правильної форми не перевищують граничних значень, встановлених у нормативних документах на продукцію конкретного виду.

Визначення густини на зразках допускається для виробів, які мають довжину більше 500 мм. При цьому довжина зразка повинна бути не менше 500 мм, ширина не менше 500 мм або дорівнювати ширині виробу.

Густину органічних ніздрюватих виробів визначають на зразках розміром [(50 x 50 x 50) ± 1] мм, які не мають ущільненого верхнього шару для виробів номінальною товщиною більше 50 мм, і розміром [(40 x 40 x 40) ± 1] мм — для виробів номінальною товщиною 50 мм, якщо в нормативних документах на вироби конкретного виду не зазначені інші розміри.

Довжина зразка шнура повинна бути не менше 1000 мм.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Відібраний для випробування виріб або зразок зважують з похибкою не більше 0,5%. Потім вимірюють розміри виробу або зразка (довжину, ширину, товщину, діаметр) і обчислюють його об'єм.

Якщо виріб (зразок) має покривний матеріал, маса якого перевищує 2% маси виробу (зразка), то її необхідно відняти від маси виробу (зразка). Об'єм виробу (зразка) обчислюють без урахування товщини покривного матеріалу, якщо його номінальна товщина перевищує 1 мм.

Густину ρ в кілограмах на кубічний метр обчислюють за формулами:

- для виробів (зразків) без покривного матеріалу

$$\rho = \frac{m}{V(1+0,01W)} \quad (46.2)$$

де

- m — маса виробу (зразка), кг;
- W — вологість виробу (зразка);
- V — об'єм виробу (зразка) м³;

— для зразків органічних ніздрюватих виробів

$$\rho = \frac{m_1}{V} \quad (46.3)$$

де m_1 — маса висушеного зразка, кг;

— для виробів (зразків) з покривним матеріалом

$$\rho = \frac{m_2 - m_3}{V(1+0,01W)} \quad (46.4)$$

де

- m_2 — маса виробу (зразка) з покривним матеріалом, кг;
- m_3 — маса покривного матеріалу після відділення від нього ізоляційного шару;

— для шнура або його зразка.

$$\rho = \frac{4(m_4 - m_5L)}{\pi D^2 L(1+0,01W)} \quad (46.5)$$

де

- m_4 — маса шнура (зразка) з обплетенням, кг;
- m_5 — маса обплетеного шнура погонної довжини m , кг/м;
- L — довжина шнура (зразка), м.
- D — діаметр шнура, м.

46.2. Визначення густини пухких волокнистих матеріалів

Обладнання, прилади, та інструменти: шафа сушильна, ваги технічні, товщиномір проб для визначення густини пухких волокнистих матеріалів (рис. 46.2.).

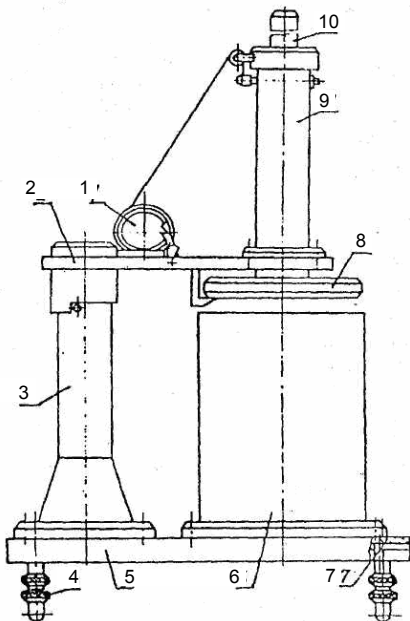


Рис. 46.2. Товщиномір проб для визначення густини пухких волокнистих матеріалів:

1 — храповик; 2 — кронштейн; 3 — колона; 4 — установочний гвинт; 5 — основа; 6 — циліндр; 7 — засувка; 8 — диск; 9 — корпус; 10 — шток

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

За допомогою храповика 1 шток приладу 10 (рис. 46.2.) з диском 8 підіймають в крайнє верхнє положення і повертають його ліворуч на 95° . Попередньо зважену пробу волокнистого матеріалу масою (500 ± 10) г укладають горизонтальними шарами в циліндр 6. Потім кронштейн 2 повертають назад на 90° і за допомогою храповика 1

шток 10 з диском 8 опускають в циліндр 6 на матеріал, що випробовують, при цьому звільняється канат храповика 1. Через 5 хв. витримку матеріалу під питомим навантаженням (2000 ± 30) Па виконують з похибкою не більше 0,5 мм від показань товщини проби за шкалою приладу. Пробу виймають через нижню частину циліндра 6, висунувши засувку 7.

§ 47. Визначення вологості

Обладнання, прилади та інструменти: шафа сушильна, ваги технічні, стаканчики скляні за ГОСТ 25336 або тигли за ГОСТ 9147, ексикатор за ГОСТ 25336, кальцій хлористий плавлений.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

Пробу масою ($5 \pm 0,1$) г поміщують в попередньо висушений і зважений стаканчик або тигель і висушують в сушильній електрошафі до постійної маси.

Після висушування перед кожним повторним зважуванням стаканчик або тигель з пробою охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм.

Вологість органічних ніздрюватих виробів визначають на відібраних зразках і охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм.

Примітка. Під час підготовки проб (зразків) до випробувань необхідно з виробу видалити покривний матеріал.

Вологість W у відсотках обчислюють за формулою:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} 100 \quad (47.1)$$

де

- m_1 — маса стаканчика або тигля з пробою до висушування, г;
- m_2 — маса стаканчика або тигля з пробою, яка висушена до постійної маси, г;
- m_3 — маса стаканчика або тигля, г.

Вологість органічних ніздрюватих виробів обчислюють за формулою:

$$W = \frac{m_4 - m_5}{m_5} 100 \quad (47.2)$$

де

- m_4 — маса зразка до висушування, г;
- m_5 — маса зразка після висушування, г. Результат обчислення округлюють до 0,1%.

§48. Визначення сорбційної вологості

Обладнання, прилади, та інструменти:

- шафа сушильна,
- ваги аналітичні, які мають границю похибки зважування, що допускається, $\pm 0,2$ мг,
- стаканчик (бюкс) скляний за ГОСТ 23932,
- ексикатор за ГОСТ 25336,
- кальцій хлористий плавлений.

Суть методу полягає у вимірюванні маси води, адсорбованої зразком сухого матеріалу за певних умов на протязі заданого часу.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Пробу масою (5 ± 1) г поміщають у попередньо висушений і зважений стаканчик (бюкс) і висушують до постійної маси у відповідності з розділом 3, зважують і до проведення випробування зберігають в ексикаторі над хлористим кальцієм.

Сорбційну вологість органічних ніздрюватих виробів визначають на зразках визначених розмірів. Зразки висушують і охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм. Для проведення випробування може використовуватись проба (зразок) матеріалу після визначення на ній вологості.

Стаканчик з пробою матеріалу поміщають над водою в ексикатор і витримують протягом 24 або 72 год. Потім стаканчик з пробою матеріалу виймають з ексикатора і зважують. Об'єм проб матеріалу, які одночасно поміщені в ексикатор, не повинен перевищувати 50% об'єму повітряного простору в ексикаторі.

Зразки органічних ніздрюватих виробів після висушування зважують, поміщають над водою в ексикатор і витримують на протязі 24 год. при температурі (22 ± 5) °С, після чого знову зважують.

Сорбційну вологість $W_{\text{сорб}}$ у відсотках обчислюють за формулою:

$$W_{\text{сорб}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} 100 \quad (48.1)$$

де

- m_1 — маса бюкса з пробою після витримання над водою, г;
- m_2 — маса бюкса з пробою, яка висушена до постійної маси, г;
- m_3 — маса бюкса, г.

Сорбційну вологість органічних ніздрюватих виробів обчислюють за формулою:

$$W_{\text{сорб}} = \frac{m_4 - m_5}{m_5} 100 \quad (48.2)$$

де

- m_4 — маса зразка після витримування над водою, г;
- m_5 — маса висушеного зразка, г. Результат визначення округлюють до 0,1%.

§ 49. Визначення водовбирання

Обладнання, прилади, та інструменти: шафа сушильна, ваги технічні, ванна із нержавіючого матеріалу, яка має сітчасту підставку і привантажувач із нержавіючого матеріалу (рис. 49.1.), піддон для завантажування з розмірами в площині 120 x 120 мм, з висотою бортів 10 мм, ексикатор за ГОСТ 25336, кальцій хлористий плавлений.

Метод визначення водопоглинання при тривалому зануренні теплоізоляційного виробу будівельного призначення

Стандарт ДСТУ ЕН 12087:2016 поширюється на теплоізоляційні вироби, що застосовуються в будівництві (далі – вироби), і встановлює вимоги до засобів випробування і методикам визначення водопоглинання при тривалому зануренні зразків у воду. Даний стандарт встановлює такі методи

Метод 1 – часткове занурення зразків

Метод 2 – повне занурення зразків

Випробування виробів за визначенням водопоглинання при тривалому частковому зануренні моделює водопоглинання виробів при тривалому впливі води в умовах будівельного майданчика. Водопоглинання при тривалому повному зануренні не є характеристикою виробів в умовах будівельного майданчика, однак може застосовуватися для деяких виробів при їх конкретному застосуванні.

Часткове занурення (метод 1). Визначають водопоглинання по зміні маси зразка, зануреного частково у воду на 28 діб.

Воду, утримувану на поверхні зразка, але не поглинену їм, видаляють шляхом її стікання у методі 1А або враховують відніманням значення початкового водопоглинання у методі 1В.

Повне занурення (метод 2). Визначають водопоглинання по зміні маси зразка, повністю зануреного у воду на 28 сут. Воду, утримувану на поверхні зразка, але не поглинену їм, видаляють шляхом її стікання в методі 2А або враховують шляхом вирахування початкового поглинання води в методі 2В.

ПРИСТРОЇ

Ваги, що забезпечують зважування зразків з похибкою не більше 0,1 г.

Ємність з водою, забезпечена пристроєм для підтримки постійного рівня води в межах ± 2 мм; привантажувач, тримає зразок

в заданому положенні. Схеми випробувань наведені на рисунках 1-3. Підставки для зразка не повинні закривати більш ніж на 15 % площі грані зразка, зануреної в воду. Привантажувач не повинен змінювати первинну форму зразка.

Водопровідна вода температурою $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Прийомлення для стікання води. Принципи методів 1А і 2А зображені на *рисунках*

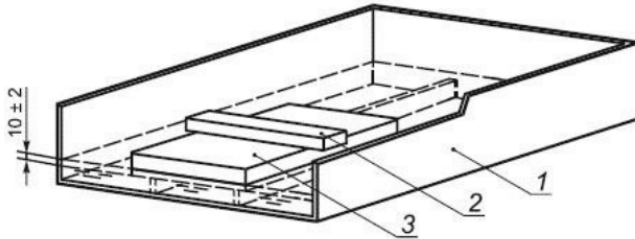


Рис. 49.1. Схеми випробування на визначення водопоглинання при частковому зануренні зразка (методи 1А і 1В):

1 – ємність з водою; 2 – привантажувач, що тримає зразок в частково зануреному положенні; 3 – зразок.

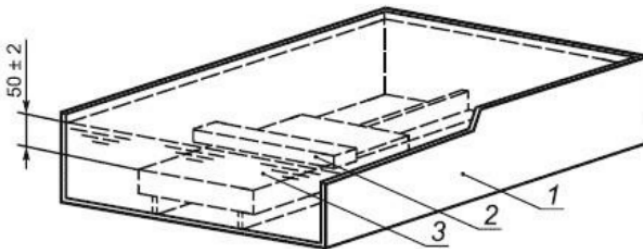


Рис. 49.2. Схеми випробування на визначення водопоглинання при частковому зануренні зразка (методи 1А і 1В):

1 – ємність з водою; 2 – привантажувач, що тримає зразок в повністю зануреному положенні; 3 – зразок.

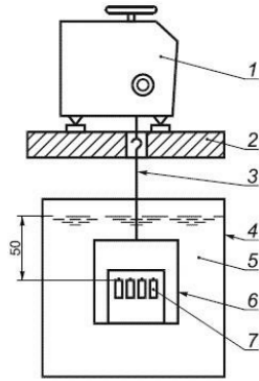


Рис. 49.3. Схема випробування на визначення водопоглинання при повному зануренні зразка (метод 2С): 1 – ваги; 2 – опорний столик для зважування; 3 – фіксуючий стрижень; 4 – ємність з водою; 5 – вода; 6 – сітчастий контейнер з нержавіючого матеріалу з фіксуючим стрижнем або пригрузом масою, достатньої для запобігання спливання зразка; 7 – зразок.

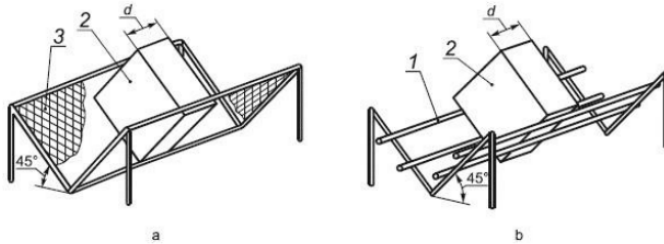


Рис. 49.4. Пристосування для стікання води: 1 – підставка з нержавіючої сталі; 2 – зразок; 3 – перфорована сітка з нержавіючої сталі.

Зразки для випробувань

Товщина зразків d повинна дорівнювати товщині виробу.

Зразки повинні мати форму призми з квадратним поперечним перерізом розміром сторони (200 ± 1) мм.

Число зразків вказують у стандарті або технічних умовах на виріб конкретного виду. Якщо число зразків не встановлено, випробовують не менше чотирьох зразків.

При відсутності стандарту або технічних умов на виріб число зразків може бути узгоджене між зацікавленими сторонами.

Підготовка зразків до випробувань

Зразки вирізають так, щоб їх бічні грані не збігалися з бічними гранями виробу.

При підготовці до випробування зразки повинні зберігати структуру виробу, з якого їх вирізають. Будь-які оболонки, облицювання та/або покриття повинні бути збережені.

Спеціальні методи підготовки зразків (якщо необхідно) повинні бути приведені у стандарті або технічних умовах на виріб.

Кондиціонування зразків

Зразки перед випробуванням витримують не менше 6 год при температурі $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. У разі розбіжностей зразки витримують при температурі $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря $(50 \pm 5) \%$ протягом часу, зазначеного в стандарті або технічних умовах на виріб, але не менше 6 год

Випробування проводять при температурі $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. У разі розбіжностей випробування проводять при температурі $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Проведення випробувань

Обраний метод випробувань вказують у стандарті або технічних умовах на виріб. За відсутності стандарту або технічних умов на виріб метод випробування узгоджують між собою зацікавлені сторони.

Водопоглинання визначають через 28 діб після занурення зразків. Якщо необхідно, водопоглинання визначають через 7та/або 14 діб після занурення.

Розміри зразків вимірюють до початку випробувань з похибкою не більше 0,5 мм відповідно до EN 12085. Якщо після занурення зразків відзначені зміни їх розмірів, вимірювання необхідно повторити.

Водопоглинання при тривалому частковому зануренні (метод 1)

Метод 1А (стікання води). Зразки зважують з точністю до 0,1 г для визначення початкової маси m_0 .

При проведенні випробування половину всіх зразків поміщають в ємність однією з лицьових граней вниз, а другу половину зразків – протилежною гранню вниз.

Зразок поміщають в порожню ємність і за допомогою привантажувача прикладають навантаження, при якому зразок при наливанні води був би частково занурений у воду. У ємність обережно наливають воду до тих пір, поки нижня грань зразка не буде знаходитися на (10 ± 2) мм нижче рівня води (див. рисунок 1). Під час випробування рівень води повинен залишатися постійним.

Через 28 діб зразок виймають з ємності з водою. Зразок для видалення зайвої вологи осушують протягом $(10 \pm 0,5)$ хв, розмістивши його вертикально на сітку або підставку для стікання води, встановлену під кутом 45° , як показано на рисунках 4а або 4б. Потім зразок знову зважують для визначення маси, m_{28} .

Метод 1В (віднімання значення початкового водопоглинання). Зразки зважують з точністю до 0,1 г для визначення початкової маси m_0 .

При проведенні випробування половину всіх зразків поміщають в ємність однією з лицьових граней вниз, а другу половину зразків – протилежною гранню вниз.

Зразок поміщають в ємність з водою так, щоб його нижня грань була занурена на (10 ± 2) мм нижче рівня води. Через 10 з зразок виймають з резервуара, тримаючи його горизонтально, і розміщують протягом 5 с на пластмасову посудину відомої маси. Посудину зі зразком зважують для визначення маси зразка з урахуванням спочатку поглиненої води, m_1 .

Зразок вдруге поміщають в ємність з водою і за допомогою привантажувача утримують його частково зануреним у воду на (10 ± 2) мм нижче рівня води (див. рисунок 1). Під час випробування рівень води повинен залишатися постійним.

При проведенні випробування половину всіх зразків поміщають в ємність однією з лицьових граней вниз, а другу половину зразків – протилежною гранню вниз.

Через 28 діб зразок виймають з ємності, утримуючи його в горизонтальному положенні, і розміщують протягом 5 с на пластмасову посудину відомої маси для визначення маси m_{28} .

Метод 1В застосовують у випадку, якщо значення початкового водопоглинання менше або дорівнює $0,5 \text{ кг/м}^2$. Значення початкового водопоглинання, кг/м , визначають за формулою:

$$\frac{m_1 - m_0}{A_p}$$

де:

m_0 первісна маса зразка, визначена в методі 1В, кг;

m_1 маса зразка з урахуванням первісного водопоглинання (метод 1В), кг;

A_p площа грані зразка, зануреної в воду, м.

Водопоглинання при тривалому повному зануренні (метод 2)

Метод 2А (стікання води) Зразки зважують з точністю до 0,1 для визначення початкової маси m_0 .

Зразок поміщають в порожню ємність і прикладають навантаження, яке має утримувати зразок повністю зануреним у воду. У ємність обережно наливають воду до тих пір, поки верхня грань зразка не виявиться нижче рівня води на (50 ± 2) мм (див. рисунок 2). Під час випробування рівень води повинен залишатися постійним.

Через 28 діб зразок виймають з ємності. Для видалення зайвої вологи зразок осушують протягом $(10 \pm 0,5)$ хв, помістивши його у вертикальному положенні на сітку або підставку для стікання води, встановлену під кутом 45° , як показано на рисунках 4а або 4б. Потім зразок знову зважують для визначення маси m_{28} .

Метод 2Б (вирахування значення початкового водопоглинання). Зразки зважують з точністю до 0,1 г для визначення початкової маси m_0 .

Зразок поміщають в ємність з водою так, щоб його верхня грань знаходилася нижче рівня води на (50 ± 2) мм. Через 10 с зразок виймають з ємності і протягом 5 с, утримуючи його в горизонтальному положенні, поміщають на пластмасову посудину відомої маси. Посудину із зразком зважують для визначення маси зразка m_1 з урахуванням спочатку поглиненої води.

Зразок знову розміщують у ємність з водою і прикладають навантаження, яке утримує зразок повністю зануреним у воду, при цьому верхня грань зразка повинна знаходитися нижче рівня води на (50 ± 2) мм (див. рисунок 2). Під час випробування рівень води повинен залишатися постійним.

Через 28 діб зразок виймають з ємності, утримуючи його в горизонтальному положенні, і поміщають протягом 5 с на пластмасову посудину відомої маси для визначення маси m_{28} .

Метод 2В застосовують у випадку, якщо початкове водопоглинання менше або дорівнює $0,5 \text{ кг/м}^2$. Значення початкового водопоглинання $W_0, \text{ кг/м}^2$, визначають за формулою:

$$\frac{m_1 - m_0}{A_1}$$

де:

m_0 — первісна маса зразка, визначена в методі 2Б, кг;

m_1 — маса зразка з урахуванням значення початкового водопоглинання (метод 2Б), кг;

A_1 загальна площа поверхні зразка, що знаходиться у воді, м^2 .

Метод 2С. Зразки зважують з точністю до 0,1 г для визначення початкової маси m_0 .

Визначають лінійні розміри зразків l_0, b_0, d_0 , з точністю до 0,5 мм згідно з EN 12085. Ємність наповнюють водопровідною водою. Порожній сітчастий контейнер, занурений у воду, зважують з точністю до 0,1 г (маса m_1).

Контейнер видаляють з води і поміщають в нього горизонтально зразки так, щоб після занурення у воду рівень води над верхньою

гранню зразків дорівнював (50 ± 2) мм. Під час випробування рівень води в ємності повинен залишатися постійним. Контейнер зі зразками занурюють в ємність з водою і за допомогою фіксуєного стержня прикріплюють його до вагів.

Утворені на зразках повітряні бульбашки видаляють щіткою або струшуванням. Контейнер повинен перебувати на одному і тому ж рівні.

Через 28 діб визначають масу, m_{28} , зануреного у воду контейнера зі зразками з точністю до 0,1 г.

Вимірюють лінійні розміри зразків (l_1 , b_1 , d_1) з точністю до 0,5 мм.

За результат випробувань приймають середньоарифметичне значення результатів окремих випробувань (в методі 1 для виробів з різними лицьовими гранями обчислюють два середні значення).

Результати випробувань не допускається поширювати на вироби іншої товщини.

Результати, отримані при визначенні водопоглинання різними методами, що не допускається порівнювати.

Водопоглинання при тривалому частковому зануренні

Водопоглинання при тривалому частковому зануренні кожного зразка W_{1p} , кг/м², обчислюють за формулами (1) або (2):

$$\text{Метод 1А} \quad W_{1p} = \frac{m_{28} - m_0}{A_p}$$

$$\text{Метод 1В:} \quad W_{1p} = \frac{m_{28} - m_1}{A_p}$$

де:

m_0 первісна маса зразка, визначена в методі 1А, кг;

m_1 маса зразка з урахуванням значення початкового водопоглинання в методі 1В, кг;

m_{28} маса зразка після часткового занурення на 28 діб (методи 1А і 1В), кг;

A_p площа грані зразка, зануреної в воду, м.

Значення водопоглинання W_{1p} округлюють з точністю до 0,01 кг/м².

Водопоглинання при тривалому повному зануренні

Водопоглинання при тривалому повному зануренні W_{1t} у відсотках за обсягом обчислюють за формулами (3) або(4):

$$\text{Метод 2А} \quad W_{1t} = \frac{m_{28} - m_0}{V} \cdot \frac{100}{\rho_w}$$

Метод 2В

$$W_{1c} = \frac{m_{28} - m_1}{V} \cdot \frac{100}{\rho_w}$$

де:

m_0 первісна маса зразка, визначена методом 2А, кг;

m_1 маса зразка з урахуванням значення початкового водопоглинання, визначена в методі 2В, кг;

m_{28} маса зразка після повного занурення на 28 діб, визначена методами 2А і 2В, кг;

V початковий обсяг зразка, м³;

ρ_w щільність води, рівна 1000 кг/м³.

Значення водопоглинання W_{1t} округлюють з точністю до 0,1% за об'ємом.

Метод 2С

Водопоглинання зразка через 28 діб після занурення його у воду W_{28} у відсотках за обсягом обчислюють за формулою

$$W_{28} = \frac{m_{28} + V_1 \cdot \rho_w - m_0 - m_1}{V_0 \cdot \rho_w}$$

де:

m_0 первісна маса зразка, кг;

m_1 маса порожнього решіткового контейнера, зануреного у воду, кг;

m_{28} маса зразка та контейнера через 28 діб після їх занурення у воду, кг;

$$V_0 = L_0 \cdot b_0 \cdot d_0$$

початковий обсяг зразка, м;

$$V_1 = l_1 \cdot b_1 \cdot d_1$$

об'єм зразка через 28 діб після його занурення, м;

ρ_w щільність води, рівна 1000 кг/м³.

Значення водопоглинання W_{28} округлюють з точністю до 0,1% за об'ємом.

§ 50. Визначення вмісту органічних речовин

Обладнання, прилади та інструменти: електропіч камерна, яка забезпечує температуру нагрівання до 600 °С, ваги технічні, тигель порцеляновий за ГОСТ 9147, ексикатор за ГОСТ 25336, кальцій хлористий плавлений.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

У попередньо прожарений і зважений тигель поміщують пробу масою (5 + 0,1) г і висушують до постійної маси. До випробування пробу зберігають в ексикаторі над хлористим кальцієм.

Для випробування може бути використана проба матеріалу або виробу після визначення вологості.

Тигель з пробюю поміщають у камерну електропіч і при температурі (600 ± 10) °С витримують на протязі 2 год. Потім тигель з пробюю охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм і зважують.

Вміст органічних речовин Z_0 у відсотках обчислюють за формулою:

$$Z_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100 \quad (50.1)$$

де

- m_1 — маса тигля з пробюю, висушеної до постійної маси, г;
- m_2 — маса тигля з пробюю після прожарювання, г;
- m_3 — маса тигля, г.

Результат випробування округляють до 0,1%.

§ 51. Визначення повноти поліконденсації фенолоформальдегідного зв'язуючого

Обладнання, прилади та інструменти: електропіч камерна, яка забезпечує температуру нагрівання до 600 °С, шафа сушильна, ваги аналітичні, які мають границю похибки зважування, що допускається $\pm 0,2$ мг, прилад Сокслета для екстрагування, тигель порцеляновий за ГОСТ 9147 з пористою поверхнею (ПОР 160) за ГОСТ 21400, ступка з товкачем за ГОСТ 9147, чашка 4БВ за ГОСТ 25336, п'ятиокис фосфору хлористий плавлений, ефір петролейний, ацетон за ГОСТ 2603.

Суть методу полягає у визначенні втрати в масі проби матеріалу або виробу після екстрагування ацетоном частки зв'язуючого, яка не затверділа.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Пробу масою $(40 + 1)$ г подрібнюють в порцеляновій ступці. Порошок перемішують скляною паличкою, насипають в чашку висотою шару не більше 20 мм і витримують для видалення вологи в ексикаторі з концентрованою сірчаною кислотою або п'ятиокисом фосфору протягом 24 год. Із висушеного порошка відбирають дві проби масою $(10 + 0,2)$ г кожна. Одна проба призначена для визначення вмісту органічних речовин, друга фенолоформальдегідного незатверділого зв'язуючого і гідрофобізуючої добавки (при її наявності в матеріалах і виробих).

Пробу поміщають в попередньо зважений фільтруючий тигель з пористою пластиною і зважують. Потім тигель закривають

фільтрувальним папером і поміщають в прилад Сокслета таким чином, щоб під час екстрагування верхня частина тигля на 4...5 мм виступала над поверхнею розчинника.

З'єднують прилад з холодильником і нагрівають колбу з розчинником до його кипіння. Нагрівання повинно забезпечити сифонування приблизно 10...12 разів на годину.

Гідрофобізуючу речовину, яка міститься в пробі, екстрагують петролейним ефіром протягом 3 год. Після закінчення екстрагування тигель разом з пробію (без фільтра) висушують при температурі $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до постійної маси, потім охолоджують в ексикаторі з хлористим кальцієм і зважують. Після цього тигель знову закривають фільтром, поміщають в прилад Сокслета і екстрагують ацетоном на протязі 10 год. для видалення незатверділої розчинної частки зв'язуючого. Після екстрагування тигель разом з пробію (без фільтра) поміщають в сушильну шафу, висушують до постійної маси, потім охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм і зважують.

Примітка. У випадку відсутності гідрофобізуючих речовин екстрагування петролейним ефіром не проводять.

Вміст гідрофобізуючої речовини Z_1 у відсотках обчислюють за формулою:

$$Z_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100 \quad (51.1)$$

де

■ m_1 — маса проби до екстрагування петролейним ефіром, г;

■ m_2 — маса проби після екстрагування петролейним ефіром, г.

Повноту поліконденсації зв'язуючої речовини C_p у відсотках обчислюють за формулою:

$$C_p = 100 - \frac{m_2 - m_3}{m_2 Z} 10^4 \quad (51.2)$$

де

■ m_3 — маса проби після екстрагування ацетоном, г.

§ 52. Визначення міцності на стиск при 10% лінійній деформації

Обладнання, прилади та інструменти: машина випробувальна, що забезпечує швидкість навантаження зразка 5...10 мм/хв. і дозволяє виміряти навантаження з похибкою, яка не перевищує 1% значення стискального зусилля, індикатор годинникового типу за ГОСТ 577, лінійка металева за ГОСТ 427, штангенциркуль за ГОСТ 166.

Суть метода полягає в вимірюванні значення стискальних зусиль, які викликають деформацію зразка за товщиною на 10% при відповідних умовах випробування.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Із виробу випилують зразок у формі паралелепіпеда завдовжки і завширшки (100 ± 1) мм і завтовшки як товщина виробу.

Границя похибки вимірювання довжини і ширини зразка, що допускається, складає лінійкою ± 0,5 мм, штангенциркулем ± 0,1 мм. Для проведення випробування зразок поміщають в машину таким чином, щоб стискальне зусилля діяло по вертикальній осі зразка і вимірюють навантаження, при якому він ущільнюється (деформується) на 10%. Вимірювання деформації зразка виконується індикатором годинникового типу. Відлік деформації зразків починають при питомому навантаженні на зразок (2000 ± 100) Па (окрім зразків органічних ніздрюватих виробів).

Міцність на стиск при 10%'й лінійній деформації σ_{10} в мегапаскалях (кгс/см²) обчислюють за формулою:

$$\sigma_{10} = \frac{P}{Lb} \quad (52.1)$$

де

- P — навантаження при 10%'й лінійній деформації, Н (кгс);
- L — довжина зразка, мм (см);
- b — ширина зразка, мм (см).

Результат випробування округлюють до 0,01 МПа.

§ 53. Визначення границі міцності при стиску

Обладнання, прилади та інструменти: машина випробувальна, що забезпечує швидкість навантаження зразка 5...10 мм/хв. і дозволяє виміряти значення навантаження з похибкою, яка не перевищує 1% значення руйнівного зусилля; штангенциркуль за ГОСТ 166.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Із виробу випилують зразок у формі куба з розміром ребра (100 + 1) мм, якщо в нормативному документі на конкретний вид продукції не зазначені інші розміри.

Довжину і ширину верхньої і нижньої основи зразка вимірюють штангенциркулем за двома паралельними ребрами. Границя похибки вимірювання, що допускається, ± 0,1 мм.

Довжиною і шириною зразка вважають середнє арифметичне значення чотирьох вимірювань довжини і ширини верхньої і нижньої основи.

Примітка. Допускається при товщині виробу менше 100 мм складати куб зазначеного розміру з двох зразків у формі паралелепіпеда заввишки (50 + 5) мм. Дві половини складеного зразка притирають один до одного і вимірюють довжину кожного ребра штангенциркулем. В підготовленому для випробування зразку довжини всіх паралельних ребер не повинні різнитися більше ніж на 0,5 мм.

Цілий або складений за висотою зразок установлюють в машину таким чином, щоб стискальне зусилля було спрямоване за вертикальною віссю зразка.

Руйнівним вважають найбільше навантаження, відмічене при випробуванні зразка в момент його руйнування.

Границею міцності при стиску R_{CT} в мегапаскалях (кгс/см²) обчислюють за формулою:

$$R_{CT} = \frac{P}{Lb} \quad (53.1)$$

де

- P – руйнівне навантаження, Н (кгс);
- L – довжина зразка, мм (см);
- b – ширина зразка, мм (см).

Результат випробування округляють до 0,01 МПа.

§ 54. Визначення границі міцності при вигині

Обладнання, прилади та інструменти: машина випробувальна, яка забезпечує швидкість навантаження зразка центральним зосередженим навантаженням 5...10 мм/хв і дозволяє знайти відлік руйнівного навантаження з похибкою не більше 0,1%, штангенциркуль за ГОСТ 166.

ПОРЯДОК ВИПРОБУВАННЯ

Із виробу випилюють зразок квадратного перерізу з розміром ребра (40 + 2) мм і завдовжки (200 ± 3) мм.

При товщині виробу менше 40 мм із нього випилюють зразки завширшки (40 ± 2) мм і максимально можливої товщини. Перед випробуванням зразок підшліфовують.

Для органічних ніздрюватих виробів зразки випилюють завдовжки (160 + 1) мм, завширшки і завтовшки (30 + 1) мм, якщо в нормативних документах на вироби конкретного виду не зазначені інші розміри.

Ширину і товщину вимірюють штангенциркулем в середній частині двох протилежних граней зразка. Границя похибки вимірювання, що допускається, ± 0,1 мм.

Шириною і товщиною зразка вважають середнє арифметичне значення двох вимірювань.

Зразок укладають на дві циліндричні опори діаметром $(10 + 0,1)$ мм. Відстань між осями опор повинна бути $(160 + 1)$ мм.

Навантаження на зразок повинне передаватись через валик діаметром $(10 \pm 0,1)$ мм, який прикладений по всій ширині зразка на рівній відстані від опор і переміщується із швидкістю $5...10$ мм/хв.

Під час випробування органічних ніздрюватих виробів зразок установлюють на опори таким чином, щоб кінці зразка виходили за осі опор не менше ніж на 15 мм. При цьому відстань між опорами повинна бути $(120 + 1)$ мм, радіус закруглення опор — $(6 \pm 0,1)$ мм.

Навантажувальний пристрій повинен мати форму півциліндра радіусом (6 ± 1) мм і переміщуватися зі швидкістю $5...10$ мм/хв.

Руйнівним вважають найбільше навантаження, яке відмічене під час випробування зразка в момент його руйнування.

Примітка. *Допускається зміна діаметра опор і відстані між ними, якщо в нормативних документах на конкретні види продукції установлені інші розміри зразків.*

Границя міцності при вигині $R_{вуг}$ в мегапаскалях (кгс/см²) обчислюють за формулою:

$$R = \frac{3PL}{2bh^2} 100 \quad (54.1)$$

де

- P — руйнівне навантаження, Н (кгс);
- L — відстань між осями опор, мм (см);
- b — ширина зразка, мм (см);
- h — висота зразка, мм (см);

Результат випробування округлюють до 0,01 МПа.

§ 55. Визначення границі міцності при розтягненні волокнистих матеріалів і виробів

Обладнання, прилади та інструменти: машина розривна, що забезпечує розтягнення зразка із швидкістю руху активного захвату $(20 + 1)$ мм/хв. і дозволяє виміряти значення руйнівного зусилля з похибкою не більше 1%, затискачі голчасті (рис. 52.1.), лінійка металева за ГОСТ 427, товщиномір (рис. 52.1.).

ПОРЯДОК ВИПРОБУВАННЯ

Границю міцності при розтягненні $R_{розт}$ в мегапаскалях (кгс/см²) обчислюють за формулою:

$$R_{розт} = \frac{P}{bh} \quad (55.1)$$

де

- P — руйнівне навантаження, Н (кгс);
- b — ширина зразка, мм (см);
- h — товщина зразка, мм (см).

Результат випробування округлюють до 0,01 Па.

Із матеріалу або виробу з плоскою поверхнею вирізують зразок у формі паралелепіпеда завдовжки (280 ± 3) мм і завширшки (70 ± 2) мм і завтовшки як матеріал або виріб. Із виробу з циліндричною поверхнею вирізують зразок зазначеної довжини і ширини і максимально можливої товщини.

Ширину зразка вимірюють лінійкою з двох боків посередині його довжини і на відстані $(50 + 5)$ мм від кожного торця. Границя похибки вимірювання лінійкою, що допускається, $\pm 0,5$ мм.

Шириною зразка вважають середнє арифметичне значення шістьох вимірювань.

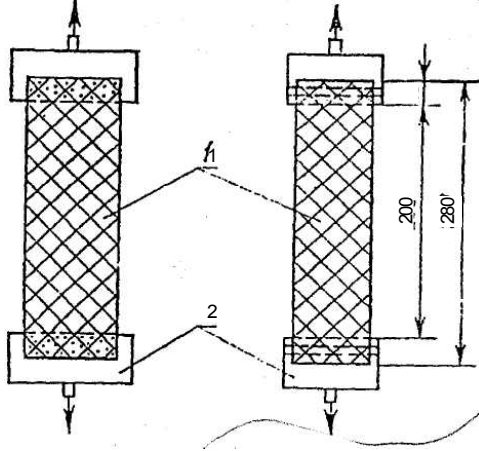


Рис. 55.1. Товщиномір: 1 — зразок; 2 — голчастий затискач

Товщиною зразка, вирізаного з матеріалу або виробу з плоскою поверхнею, вважають товщину матеріалу (виробу), із якого він вирізаний,

Зразок з обох кінців закріплюють у голчасті затискачі (рис. 55.1.) таким чином, щоб відстань між затискачами була $(200 + 1)$ мм і поміщають в прилад. Розтягальне зусилля передають на зразок через голчасті затискачі при швидкості руху активного захвату $(20 + 1)$ мм/хв. Руйнівним вважають найбільше зусилля, відмічене під час випробування зразка в момент його руйнування. При руйнуванні зразка в затискачах або біля затискачів результат вважають недійсним.

Якщо Δh перевищує 10 мм, товщину зразка після деформації h_1 під питомим навантаженням (2000 ± 0) Па відраховують за міліметровою шкалою 6.

Піднявши вимірну вісь індикатора та зафіксувавши її індикатором 3, звільняють гвинт 16, підіймають рухому частину приладу разом з пластиною 8 і знову закріплюють гвинтом 16.

Через 15 хв після зняття навантаження на поверхню зразка повторно опускають пластину 8, витримують в такому положенні 5 хв, якщо у нормативних документах на виробі конкретного виду не вказаний інших час витримування, і потім закріплюють її гвинтом 13. Віджавши фіксатор 3, дають вимірній осі індикатора опуститися на пластину 8 і за шкалою індикатора відраховують змінення товщини Δh_1 .

Якщо Δh_1 перевищує 10 мм, товщину зразка після зняття навантаження $(2000 + 30)$ Па під навантаженням $(500 \pm 7,5)$ Па відраховують за міліметровою шкалою 6.

Обробка результатів стисливості $C_{ж}$ у відсотках обчислюють за формулами:

— при відліку за індикатором

$$C_{ж} = \frac{\Delta h}{h} \quad (56.1)$$

— при відліку за міліметровою шкалою

$$C_{ж} = \frac{h - h_1}{h} \quad (56.2)$$

де

■ h — товщина зразка під питомим навантаженням $(500 \pm 7,5)$ Па, мм;

■ h_1 — товщина зразка після деформації під питомим навантаженням (2000 ± 300) Па, мм.

Пружність Y у відсотках обчислюють за формулами:

— при відліку за індикатором

$$Y = \left(1 - \frac{\Delta h}{h}\right) 100 \quad (56.3)$$

— при відліку за міліметровою шкалою

$$Y = \frac{h_2}{h} 100 \quad (56.4)$$

де

h_2 — товщина зразка після знаття навантаження (2000 ± 30) Па, мм.

Результат визначень округляють до 0,1 %.

§ 57. Визначення гнучкості силікатних волокнистих матеріалів та виробів

Випробування здійснюється за допомогою пристрою для визначення гнучкості теплоізоляційних матеріалів (рис. 57.1.).

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

З плоского матеріалу чи виробу вирізають зразок завширшки (100 + 5) мм та завтовшки як виріб. Довжина зразка повинна бути не менш довжини кола циліндра, на якому будуть проводитися випробування.

Від шнурового матеріалу відрізають зразок завдовжки (300 + 5) мм. Випробування зразка проводять на циліндрі, діаметр якого вказаний у нормативному документі на продукцію конкретного виду. Зразок плоского матеріалу чи виробу беруть за два краї по довжині і прикладають до циліндра таким чином, щоб середина довжини зразка торкалася твірної циліндра. Потім одночасно обидва краї зразка вигинають так, щоб він торкався всієї поверхні циліндра.

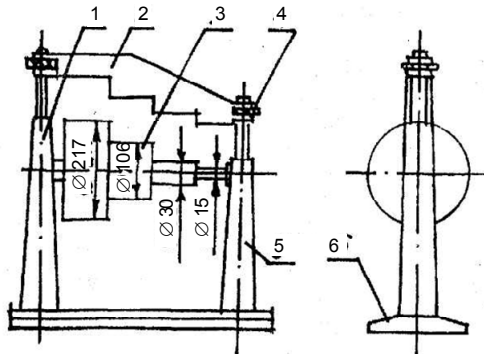


Рис. 57.1. Пристрій для визначення гнучкості: 1 — опора; 2 — притискна планка; 3 — циліндр; 4 — гайка; 5 — опора; 6 — основа

Зразок шнура беруть за два краї по довжині та прикладають до циліндра таким чином, щоб вийшов повний виток.

Гнучкість зразка оцінюють візуально по розривах та розшаруваннях на його поверхні.

§ 58. Визначення лінійної температурної усадки

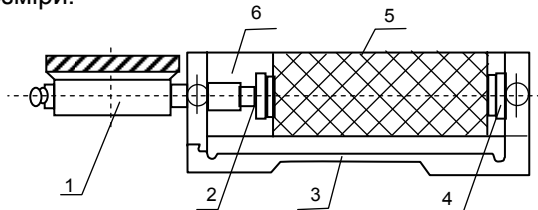
Обладнання, прилади та інструменти: електропіч камерна, яка має автоматичне регулювання температури з границею похибки, що

допускається, ± 10 °С, пристрій для визначення лінійної усадки (рис. 55.1) за технічною документацією, штангенциркуль за ГОСТ 166 з граничною похибкою, $\pm 0,1$ мм.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Обладнання, прилади та інструменти: електропіч камерна, яка має автоматичне регулювання температури з границею похибки, що допускається, $\pm 0,1$ мм.

З виробу випилюють зразок у формі паралелепіпеда квадратного перерізу із стороною розміром (40 ± 1) мм, завдовжки (120 ± 2) мм, якщо в нормативному документі на конкретний вид продукції не вказані інші розміри.



*Рис. 58.1. Пристрій для визначення лінійної усадки:
1 — індикатор годинникового типу; 2 — наконечник
вимірювального стержня індикатора; 3 — основа; 4 — упор;
5 — зразок; 6 — бокова стінка*

У підготовленому для випробування зразку довжини ребер не повинні відрізнятись більш ніж на $0,5$ мм.

Довжину зразка вимірюють штангенциркулем по середніх лініях двох протилежних граней. Довжиною зразка 1 вважають середнє арифметичне двох вимірювань, округлене до $0,1$ мм.

У пристрій (рис. 58.1.), відвівши наконечник 2 індикатора 1, розміщують зразок 5 таким чином, щоб двома суміжними гранями він був щільно притиснутий до основи 3 та бокової стінки 6, а одним з торців до упору 4. Потім наконечник індикатора опускають до зіткнення з торцем зразка і знімають показання індикатора 1.

Зразок виймають з пристрою, маркірують грані, які прилягають до основи та бокової стінки, і розміщують його в горизонтальному положенні у камерну електропіч на керамічну підставку завтовшки (20 ± 5) мм.

Відстань між зразками та від зразків до нагрівальних стінок або нагрівачів повинна бути не менша як 30 мм.

При температурі випробування до 150 °С зразок кладуть в електропіч, яка попередньо розігріта до вказаної температури. При температурі випробування понад 150 °С зразок розміщують в електропечі при температурі не більше 100 °С і потім підвищують

температуру безперервно та рівномірно зі швидкістю не більше 5 °С/хв. до температури на 50 °С нижчу за температуру випробування, а останні 50 °С — до досягнення температури випробування не більше 2 °С/хв.

При температурі, що передбачена нормативним документом на продукцію конкретного виду, яка має підтримуватися з границею похибки, що допускається, ± 10 °С, зразок витримують протягом 8 год.

Після цього зразок охолоджують у печі до температури не більше 150 °С, а далі — у приміщенні, потім удруге розміщують у пристрої (рис. 55.1.), так щоб до основи 3 та стінки 6 були притиснуті замаркіровані грані, і знімають показання індикатора 1.

Лінійну температурну усадку α у відсотках обчислюють за формулою:

$$\alpha = \frac{I_1 - I_2}{L} 100 \quad (58.1)$$

де

- E_1 — показання індикатора до нагрівання зразка, мм;
 - E_2 — показник індикатора після нагрівання зразка, мм;
 - L — довжина зразка до нагрівання, мм;
- результат визначення округляють до 0,1 %.

§ 59. Визначення середнього діаметра волокон мінеральної та скляної вати

Метод не розповсюджується на вату, яка складається переважно з волокон діаметром до 3 мм.

Обладнання, прилади та інструменти:

- мікрометр окулярний гвинтовий МОВ1 — 15 за технічною документацією або окуляр 8 зі шкалою;
- об'єкт мікрометр ОМП за технічною документацією;
- препаративний СТ — 11; об'єтив 60x0,85 або імерсійний об'єтив 90 x 1,25;
- мікроскоп Біолам (Р) або Полам (Л або Р) чи інший, що пристосований до роботи при використанні всіх вище перелічених приладів;
- освітлювач ОИ-35 або ОИ-19;
- мікроскоп бінокулярний БМ-51-2 або лупа бінокулярна БЛ-2;
- скло покривне за ГОСТ 6672;
- скло предметне за ГОСТ 9284;
- електрошафа сушильна, яка забезпечує температуру нагрівання до 105 °С та автоматичне регулювання температури з границею похибки, що допускається, ± 5 °С;

- пінцет;
- ножиці;
- голка;
- 5%’й розчин у спирті етиловому ректифікаті за ГОСТ 18300 бальзаму кедрового сибірського за технічною документацією або бальзаму ялицевого натурального за ГОСТ 2290, або каніфолі соснової за ГОСТ 19113;
- гліцерин за ГОСТ 6259.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

З 10 пучків волокнин, відібраних з різних місць проби матеріалу, готують десять препаратів. З кожного відібраного пучка вати на окремому предметному склі готують один препарат, який містить не менше як 100 волокнин.

Пучок волокнин беруть пінцетом і ножицями обрізають один з його кінців на відстані біля 5 мм від пінцету. Потім роблять другий зріз ближче до пінцета на відстані 2...3 мм від першого таким чином, щоб відрізані шматочки волокнин розташовувалися посередині скла. Поряд з ним на скло наносять краплину 5%’го розчину кедрового чи ялицевого бальзаму, або каніфолі в етиловому спирті. Потім спостерігаючи через біокулярний мікроскоп або лупу, відрізані шматочки волокнин голкою переносять у краплину і рівномірно одним шаром розподіляють на предметному склі. Препарати витримують протягом 30...40 хв у сушильній шафі при температурі 70...105 °С в залежності від розчину, що застосовується. Після цього препарат охолоджують у приміщенні.

Примітка.

1. При роботі з об’єктивом 60 x 0,85 замість розчину кедрового чи ялицевого бальзаму, або каніфолі можна застосувати 2...3 краплі гліцерину.

Охолоджені препарати почергово встановлюють у препаративній столика мікроскопа. При роботі з об’єктивом 60 x 0,85 на середину препарату з приклеєними волокнинками наносять 2...3 краплі гліцерину і зверху щільно прикладають покривне скло. Лишок гліцерину, що виходить за межі покривного скла, видаляють фільтрувальним папером, домагаючись повного присипання покривного скла до препарату. При роботі з імерсійним об’єктивом 90 x 1,25 вимірювання проводять без покривного скла, обережно занурюючи об’єктив прямо у краплину гліцерину. Потім вмикають освітлення та посування ручок препаративної столика домагаються співпадання центра препарату з оптичною віссю мікроскопа.

Вимірювання розпочинають з волокнини, що розташована якнайближче до поля зору. Просуванням однієї ручки препаративної столика волокнину переводять у центр поля зору.

Обертанням столика мікроскопа волокнину орієнтують у поле зору вертикально.

В журнал записують значення діаметра волокнини у поділках окулярного мікроскопа або шкали окуляра. Повертають столик мікроскопа у вихідне положення. Потім посуванням однієї довільно вибраної ручки препаратодія пересувають препарат до появи другої волокнини у центрі поля зору і повторюють всі вищеперелічені прийоми вимірювання. Посуванням тієї самої ручки препаратодія домагаються появи у полі зору наступних волокнин, котрі всі підряд без пропуску вимірюють у точці перетину їх з центром зору незалежно від того, чи попадають у цю точку викривлені, потовщені або витончені ділянки волокнин. В одному препараті вимірюють 10 волокнин.

Середній діаметр D_c у мікрометрах розраховують за формулою:

$$D_c = qЦ \quad (59.1)$$

Де

- q — середній діаметр волокнин у поділках окулярного мікрометра;

- $Ц$ — ціна поділки окулярного мікрометра, мкм.

Середній діаметр волокнин матеріалу обчислюють як середнє арифметичне значення вимірювань 100 волокнин та округляють до 1 мкм.

§ 60. Визначення коефіцієнту теплопровідності

Обладнання, прилади та інструменти:

- прилад для вимірювання ефективної теплопровідності і термічного опору, атестований за встановленим порядком;

- прилад для визначення густини волокнистих матеріалів за ДСТУ Б В.2.7-38;

- прилад для визначення товщини плоских волокнистих виробів за ДСТУ Б В.2.7-38;

- електрошафа сушильна, верхня границя нагріву якої не менше 383 К, границя допустимої похибки завдання та автоматичного регулювання температури — 5К;

- штангенциркуль за ГОСТ 166:

- для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів з діапазоном вимірювання 0...125 мм, значенням відліку за ноніусом — 0,05 мм, границею похибки, що допускається, — 0,05 мм;

- для вимірювання зовнішніх розмірів з діапазоном вимірювання 0...500 мм, значенням відліку за ноніусом — 0,1 мм, границею похибки, що допускається, — 0,1 мм;

- лінійка металева вимірювальна за ГОСТ 427 з верхньою границею вимірювання 1000 мм, границею відхилення від номінальних значень довжини шкали і відстаней між будь-яким штрихом і початком або кінцем шкали, — 0,2 мм;

- ваги лабораторні загального призначення за ГОСТ 24104: з найбільшою границею зважування 5 кг, ціною поділки — 100 мг, середнє квадратичне відхилення показань ваг — не більше 50,0 мг, похибка від нерівноплічності коромисла — не більше 250,0 мг, границя похибки, що допускається, — 375 мг; з найбільшою границею зважування 20 кг, ціною поділки — 500 мг, середнє квадратичне відхилення показань ваг — не більше 150,0 мг, похибка від нерівноплічності коромисла — не більше 750,0 мг, границя похибки, що допускається — 1500 мг.

Для вимірювання ефективної теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі застосовують прилади:

- зібрані за асиметричною схемою, обладнані одним тепломіром, який розташований між зразком, що випробовується, і холодною плитою приладу або між зразком і гарячою плитою приладу (рис. 57.1);

- зібрані за симетричною схемою, обладнані двома тепломірами, один з яких розташований між зразком, що випробовують, і холодною плитою приладу, а другий – між зразком і гарячою плитою приладу (рис. 57.2);

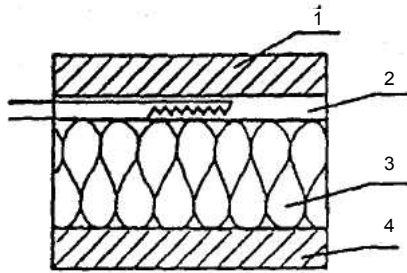


Рис. 60.1. Схема приладу з одним тепломіром: 1 — нагрівник; 2 — тепломір; 3 — зразок, що випробовується; 4 — холодильник

- прилад, у якому щільність теплового потоку, що проходить крізь зразок, який випробовують, визначають шляхом вимірювання електричної потужності, котра подається на нагрівник зони вимірювання гарячої плити приладу (прилад з гарячою охоронною зоною) (рис. 60.3).

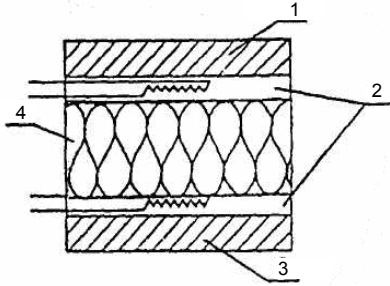


Рис. 60.2. Схема приладу з двома термомірами: 1 — нагрівник; 2 — термоміри; 3 — холодильник; 4 — зразок, що випробовується

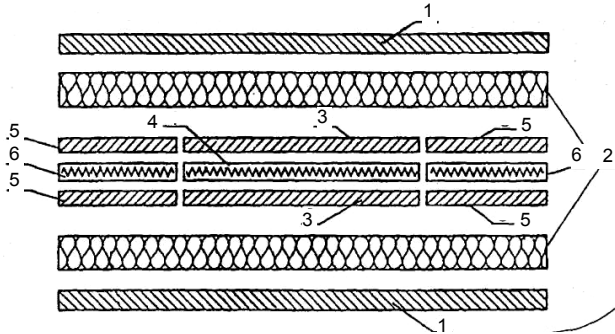


Рис. 60.3. Схема приладу з гарячою охоронною зоною:
 1 — холодильник; 2 — зразки, що випробовуються; 3 — плити нагрівника зони вимірювання; 4 — обмотка нагрівника зони вимірювання; 5 — плити нагрівника охоронної зони; 6 — обмотка нагрівника охоронної зони

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Виготовляють зразок у вигляді прямокутного паралелепіпеда, найбільші (лицьові) грані якого мають форму квадрата зі стороною, рівною стороні робочих поверхонь плит приладу. Якщо робочі поверхні плит приладу мають форму круга, то найбільші грані зразка також повинні мати форму круга, діаметр якого рівний діаметру робочих поверхонь плит приладу.

Товщина зразка, який випробовують, повинна бути менше довжини ребра лицьової грані або діаметра не менше ніж у п'ять разів.

Грані зразка, що контактують з робочими поверхнями плит приладу, повинні бути плоскими і паралельними. Відхилення лицьових граней жорсткого зразка від паралельності не повинне бути більше 0,5 мм.

Жорсткі зразки, які мають різновтовщинність та відхилення від площинності, шліфують.

Товщину зразка-паралелепіпеда вимірюють штангенциркулем з похибкою не більше 0,1 мм у чотирьох кутках на відстані $(50,0 \pm 5,0)$ мм від вершини кута і посередині кожної сторони.

Товщину зразка-диска вимірюють штангенциркулем з похибкою не більше 0,1 мм за твірними, що розташовані у чотирьох взаємно перпендикулярних площинах, які проходять через вертикальну вісь.

За товщину зразка приймають середньоарифметичне значення результатів усіх вимірів.

Середній розмір включень (гранули заповнювача, крупні пори тощо), відмінних за своїми теплофізичними показниками від основного зразка, повинен складати не більше 0,1 товщини зразка.

Допускається випробування зразка, що має неоднорідні включення, середній розмір яких перевищує 0,1 його товщини. У протоколі випробування повинен бути вказаний середній розмір включень. Визначають масу зразка M_1 при його одержанні від виробника.

Зразок висушують до постійної маси при температурі, вказаній у нормативному документі на матеріал або виріб. Зразок вважають висушеним до постійної маси, якщо втрата його маси після чергового висушування протягом 0,5 год не перевищує 0,1%. Після закінчення сушіння визначають масу зразка M_2 та його густину, після чого зразок негайно розміщують або у приладі для визначення його термічного опору, або у герметичній посудині.

Допускається випробування вологого зразка при температурі холодної лицьової грані більше 273 K і перепаді температури не більше 2 K на 1 см товщини зразка.

Зразок висушеного насипного матеріалу повинен бути розміщений у ящику, дно і кришка якого виготовлені з тонкого листового матеріалу. Довжина і ширина ящика повинні бути рівними відповідним розмірам робочих поверхонь плит приладу, глибина — товщині зразка, який випробовують. Товщина зразка насипного матеріалу повинна бути не менше ніж у 10 разів більше середнього розміру гранул, зерен і лусочок, з яких складається цей матеріал.

Відносна напівсферична випромінювальна здатність поверхонь дна і кришки ящика повинна бути більше 0,8 при тих температурах, які ці поверхні мають у процесі випробування.

Термічний опір R_L листового матеріалу, з якого виготовляють дно і кришку ящика, повинен бути відомий.

Пробу насипного матеріалу ділять на чотири рівні частини, які по черзі насипають у ящик, ущільнюючи кожну частину так, щоб вона зайняла відповідну частину внутрішнього об'єму ящика. Ящик закривають кришкою. Кришку прикріплюють до бокових стінок ящика.

Зважують ящик із зразком насипного матеріалу. За визначеним значенням маси ящика із зразком і попередньо визначеним значен-

ням внутрішнього об'єму і маси порожнього ящика обчислюють густину зразка насипного матеріалу.

Похибка визначення маси і розміру зразків не повинна перевищувати 0,5%.

Випробування повинні проводитись на попередньо градуйованому приладі.

Зразок, який підлягає випробуванню, розміщують у приладі. Розташування зразка — горизонтальне або вертикальне. При горизонтальному розташуванні зразка напрямком теплового потоку зверху вниз.

У процесі випробування різниця температур лицьових граней зразка ДТЦ повинна складати 10...30 К. Середня температура зразка при випробуванні повинна бути вказана у нормативному документі на конкретний вид матеріалу або виробу.

Встановлюють задані значення температур робочих поверхонь плит приладу і послідовно через кожні 300 с проводять вимірювання:

- сигналів тепломіра e_u і датчиків температур лицьових граней зразка, якщо щільність теплового потоку крізь зразок, який випробовують, вимірюють за допомогою тепломіра;

- потужності, яка подається на нагрівник зони вимірювання гарячої плити приладу і сигналів датчиків температур лицьових граней зразка, якщо щільність теплового потоку крізь зразок, що випробовується, визначають шляхом вимірювання електричної потужності, котра подається на нагрівник зони вимірювання гарячої плити приладу.

Тепловий потік крізь зразок, який випробовується, вважається сталим (стаціонарним), якщо значення термічного опору зразка, обчислені за результатами п'яти послідовних вимірювань сигналів датчиків температур і щільності теплового потоку, відрізняються один від одного менше ніж на 1%, при цьому ці величини не зростають і не зменшуються з часом.

Після досягнення стаціонарного теплового режиму вимірюють товщину зразка d_u , який розміщений у приладі, штангенциркулем з похибкою не більше 0,5%.

Після закінчення випробування визначають масу зразка M_3 .

Обчислюють відносну зміну маси зразка внаслідок його сушіння m_f та у процесі випробування m_w і густину зразка ρ_u за формулами:

$$m_f = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \quad (60.1)$$

$$m_w = \frac{(M_2 - M_3)}{M_2} \quad (60.2)$$

$$\rho_u = \frac{M_3}{V_u} \quad (60.3)$$

Об'єм V_u зразка, який випробовують, обчислюють за результатами вимірювання його довжини і ширини після закінчення випробування, а товщини — у процесі випробування.

Обчислюють різницю температур ΔT_u лицьових граней і середню температуру T_{mu} зразка, що випробовують, за формулами:

$$\Delta T_u = T_{1u} - T_{2u} \quad (60.4)$$

$$T_{mu} = \frac{(T_{1u} + T_{2u})}{2} \quad (60.5)$$

При обчисленні теплофізичних показників зразка і щільності стаціонарного теплового потоку в розрахункові формули підставляють середньоарифметичні значення результатів п'яти вимірювань сигналів датчиків різниці температур і сигналу тепломіра або електричної потужності, виконаних після встановлення стаціонарного теплового потоку крізь зразок, який випробовують.

При проведенні випробування на приладі, зібраному за асиметричною схемою, термічний опір R_u зразка обчислюють за формулою

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k \quad (60.6)$$

Де

- R_k — приймають таким, що дорівнює $0,005 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, (а для теплоізоляційних матеріалів і виробів — нулю).

Ефективну теплопровідність матеріалу зразка обчислюють за формулою:

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k} \quad (60.7)$$

Термічний опір R_u і ефективну теплопровідність λ_{effu} зразка насипного матеріалу обчислюють за формулами:

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L \quad (60.8)$$

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L} \quad (60.7)$$

Щільність стаціонарного теплового потоку q_u крізь зразок, який випробовують на приладі, зібраному за асиметричною і симетричною схемами, обчислюють відповідно за формулами:

$$q_u = f_u e_u \quad (60.10)$$

$$q_u = \frac{(f'_u e'_u + f''_u e''_u)}{2} \quad (60.11)$$

При проведенні випробування на приладі з гарячою охоронною зоною, у котрому щільність теплового потоку визначають шляхом зміни електричної потужності, яка подається на нагрівник зони вимірювання гарячої плити приладу, термічний опір, ефективну теплопровідність і щільність стаціонарного теплового потоку крізь зразок обчислюють за формулами:

$$R_u = \frac{A \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k \quad (60.12)$$

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{A \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k} \quad (60.13)$$

$$q_u = \frac{\Phi}{A} \quad (60.14)$$

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L \quad (60.15)$$

Під час випробування насипних матеріалів у формули замість R_k підставляють значення R_L .

За результат випробування приймають середньоарифметичні значення термічного опору і ефективної теплопровідності всіх випробуваних зразків.

§ 61. Визначення коефіцієнта звукопоглинання

Для проведення оцінки коефіцієнта звукопоглинання використовується інтерференційний метод при нормальному поданні звуку. Для більш повної характеристики звукопоглинальних властивостей матеріалу визначається ревербераційний коефіцієнт звукопоглинання (в даному підручнику не розглядається).

Коефіцієнт звукопоглинання виробів і матеріалів при нормальному поданні звуку L_0 визначається при перпендикулярному падінні звуку на поверхню зразка виробу чи матеріалу.

Обладнання, прилади та інструменти: генератор низькочастотний вимірювальний 4-го класу, 3-ї категорії (ГОСТ 10501), електронний вольтметр середніх квадратичних значень (ГОСТ 9781) з діапазоном частот не вужче робочого діапазону частот вимірювальної системи, основна похибка не більше $\pm 4\%$, вхідний опір — не менше 1 МОм, вимірювальний мікрофон 1-го класу, 1-ї групи (ГОСТ 13761), мікрофонний підсилювач. Діапазон частот не вужче 20...10000 Гц. Нерівномірність частотної характеристики в зазначеному діапазоні — не більше 0,5 Дб відносно 1000 Гц, гучномовець з робочим діапазоном частот 50...8000 Гц. Рівень звукового тиску, що створюється гучно мовцем у точці мінімуму звукового тиску в трубі інтерферометра, повинен перевищувати рівень перешкод не менше ніж на 10 дБ, акустичні фільтри (полосові) (ГОСТ 17168), електронний частото-вимірювач (ГОСТ 22261), інтерферометр (рис. 61.1.).

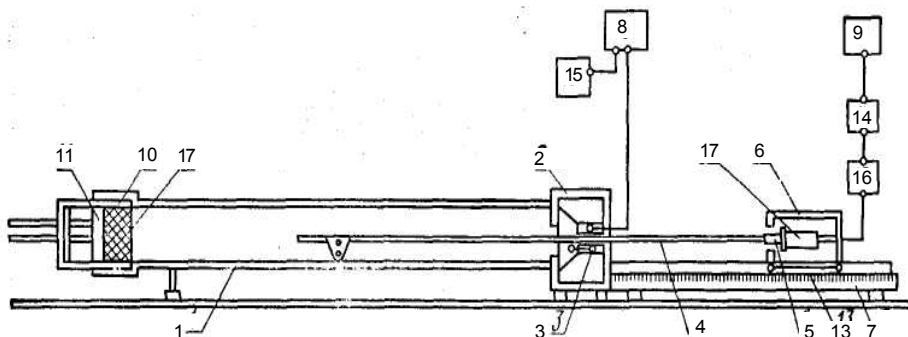


Рис. 61.1 Блок/схема інтерферометра: 1 — металічна труба; 2 — коробка; 3 — гучномовець; 4 — мікрофонний щуп; 5 — гумова діафрагма; 6 — мікрофонний візок; 7 — направляюча рейка; 8 — низькочастотний генератор; 9 — електронний вольтметр; 10 — обойма; 11 — поршень; 12 — мікрофон; 13 — покажчик відліку; 14 — акустичний фільтр; 15 — електронний частотовимірювач; 16 — мікрофонний підсилювач; 17 — лицьова поверхня зразка

Інтерферометр складається з металічної труби 1 з гладкими стінками, внутрішнім діаметром 100 мм, закріпленої до коробки 2, в якій розташовано гучномовець з потужністю з 4 Вт з діаметром дифузора 24 см, включений на вихід звукового генератора 8. Керн магніта гучномовця має отвір для мікрофонного щупа 4, виготовленого з труби з зовнішнім діаметром 3 мм та внутрішнім діаметром 2 мм. Щуп з'єднаний з гумовою діафрагмою 5 товщиною 2 мм, що закріплена у центрі денця мікрофонного візка 6, яку пересувають по направляючій рейці 7 довжиною 1 м. У візку

встановлений мікрофон 12 і чутливістю не менше $0,25 \cdot 10^{-5}$ мВ·м/н, включений на хід вольтметра 9.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ

Із звукопоглинаючих виробів та матеріалів за допомогою пуансона вирізають три циліндра висотою, що дорівнює товщині виробу або матеріалу і діаметром що на 1 мм перевищує внутрішні розміри труби інтерферометра (див. табл. 61.1)

Таблиця 61.1

Залежність параметрів інтерферометра від частотного діапазону вимірювань

Частотний діапазон вимірювань, Гц	Внутрішній діаметр труби, м	Довжина труби L, м
50 – 500	0,25	7
125 – 2000	0,1	1
1600 8000	0,025	0,025

Зразок виробу або матеріалу що випробують вставляють в обойму інтерферометра 10 таким чином щоб його не лицьова поверхня знаходилася на поршні 11, а лицьова на рівні обрізу обойми; краї лицьової сторони промазують пластиліном, після чого обойму закріплюють в трубі. Включають звуковий генератор і вольтметр вихідного та приймального трактів інтерферометра. Встановлюють на звуковому генераторі 8 необхідну частоту та пересувають мікрофонний візок 6 з щупом 4 у напрямку від зразка та знаходять значення максимальної та мінімальної напруги, що реєструються вольтметром. Виміри виконують послідовно на частотах 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400...5000 та 6300 Гц.

Для підрахунку результатів вимірювань приймають значення напруги першого максимуму U_{max} , мВ та першого мінімуму U_{min} , мВ.

Коефіцієнт звукопоглинання

$$L_0 = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2} \quad (61.1)$$

Де

- $n = U_{max} / U_{min}$ — відношення максимального (U_{max} , мВ) та мінімального (U_{min} , мВ) напруги на виході мікрофонного підсилювача, що зареєстровані вольтметром.

Результати вимірювань приймаються, як середнє арифметичне значень трьох випробувань та оформлюють у вигляді таблиць чи графіків залежності L_0 від частоти звуку.

Запитання та завдання для самостійної роботи

1. Які дані має містити документ, що супроводжує партію продукції?
2. Які дані заносять у протокол випробувань тепло- та звукоізоляційних матеріалів і виробів?
3. Як визначають густину теплоізоляційних виробів?
4. Опишіть проведення випробувань по визначенню вологості будівельних матеріалів.
5. Які методи по визначенню водовбирання Ви знаєте?
6. З якою метою та для яких матеріалів визначають міцність на стиск при 10% лінійній деформації?
7. Дайте визначення руйнівному зусиллю.
8. Опишіть процес визначення теплопровідності.
9. Як визначають коефіцієнт звукопоглинання?

Рекомендована навчально-методична література

1. Справочник по производству теплозвукоизоляционных материалов. Под ред. Спирина Ю.Л. – Москва: Стройиздат, 1975.
2. ДСТУ БВ.2.7-38-95 Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань

С 1. 04.2017 г. введені в дію нові національні стандарти:

http://aspp.com.ua/2016/novye-natsionalnye-standarty_.html

1. ДСТУ ЕН 12086:2016 «Вироби теплоізоляційні, застосовувані в будівництві. Метод визначення характеристик паропроникності» (EN 12086:2013, IDT)
2. ДСТУ ЕН 12087:2016 «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення водопоглинання при тривалому зануренні» для обговорення з громадськістю та отримання коментарів. (EN 12087:1997, IDT)
3. ДСТУ ЕН 12091:2016 «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення морозостійкості» (EN 12091:1997, IDT)
4. ДСТУ ЕН 12431:2016 «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення товщини теплоізоляції в плаваючих підлогах» (EN 12431:2013, IDT)
5. ДСТУ ЕН 13172:2016 «Вироби теплоізоляційні. Оцінка відповідності» (EN 13172:2012, IDT)
6. ДСТУ ЕН 12667:2016 «Матеріали і вироби будівельні з високим і середнім термічним опором. Методи визначення термічного опору на приладах з захищеною гарячою пластиною і оснащених тепломіром» (EN 12667:2001, IDT)
7. ДСТУ ЕН 29052-1:2016 «Акустика. Методи визначення динамічної жорсткості. Матеріали, використовувані для плаваючих підлог в житлових будинках» (EN 29052-1:1992, IDT)

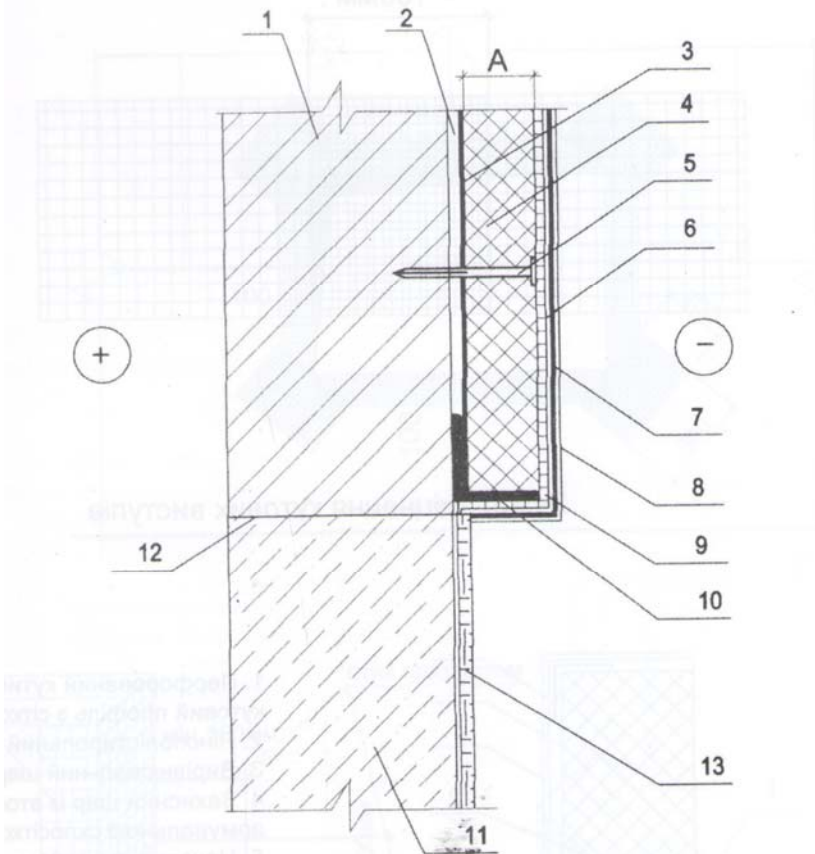
Стандарти в процесі розробки

(http://aspp.com.ua/2017/2_redakcia_proektiv_dstu_en.html)

1. (EN 822:1994, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення довжини і ширини»

2. ДСТУ Б EN 822:201x
3. (EN 823:1994, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення товщини»
4. ДСТУ Б EN 823:201X
5. (EN 824:1994, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення прямокутності»
6. ДСТУ Б EN 824 : 201x
7. (EN 825:1994, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення площинності»
8. ДСТУ Б EN 825:201x
9. (EN 826:1996, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення міцності при стиску»
10. ДСТУ Б EN 826:201x
11. (EN 1602:1996+AC/1997, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення уявної щільності»
12. ДСТУ Б EN 1602:201x
13. (EN 1603:1996, IDT+AC/1997+A1:2006, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення стабільності розмірів при постійних нормальних лабораторних умовах (температура 230с та відносна вологість 50%)»
14. ДСТУ Б EN 1603:201x
15. (EN 1604:1996+AC/1997+A1:2006, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення стабільності розмірів при заданій температурі і вологості»
16. ДСТУ Б EN 1604:201x
17. (EN 1605:1996, IDT+AC/1997+A1:2006, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення деформації при заданих стискаючому навантаженні і температурі»
18. ДСТУ Б EN 1605:201x
19. (EN 1606:1996, IDT+AC/1997) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення повзучості при стиску»
20. ДСТУ Б EN 1606:201x
21. (EN 1607:1996, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення границі міцності на розрив перпендикулярно до лицьових поверхонь»
22. ДСТУ Б EN 1607:201x
23. (EN 12085:2013, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення лінійних розмірів випробувальних зразків»
24. ДСТУ Б EN 12085:201x
25. (EN 12088:1997, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення дифузійного вологопоглинання протягом тривалого часу»
26. ДСТУ Б EN 12088:201x
27. (EN 12089:2013, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення характеристик згину»
28. ДСТУ Б EN 12089:201x
29. (EN 12090:2013, IDT) «Вироби теплоізоляційні будівельного призначення. Визначення характеристик зсуву»
30. ДСТУ Б EN 12090:201x
31. ДСТУ БВ.2.7-38-95 Матеріали і вироби будівельні теплоізоляційні. Методи випробувань

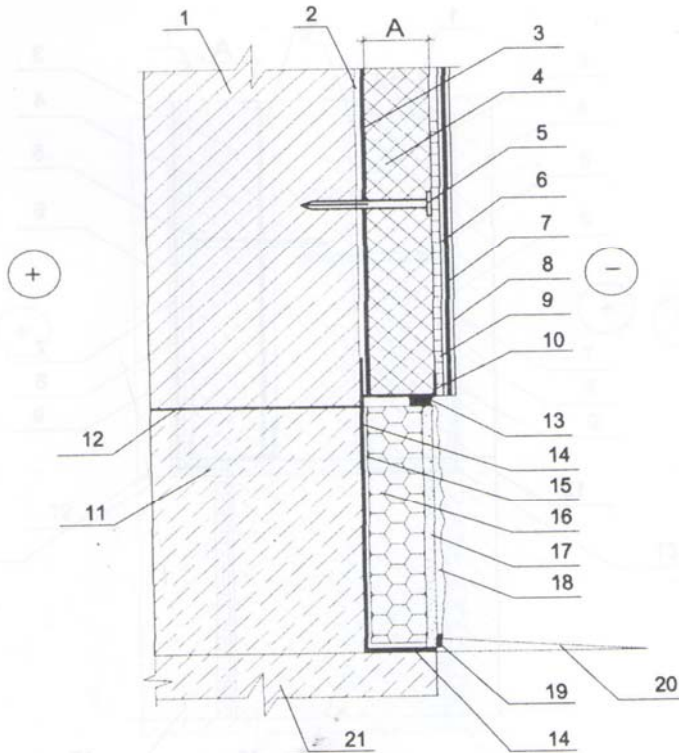
СХЕМА ПРИМИКАННЯ ПІНО ПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ДО
ЦОКОЛЯ – Варіант 1



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни з цегли
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Перфорований кутик
11. Фундаментний блок
12. Гідроізоляція
13. Оздоблювальна плитка (натуральний камінь, штучний камінь тощо)

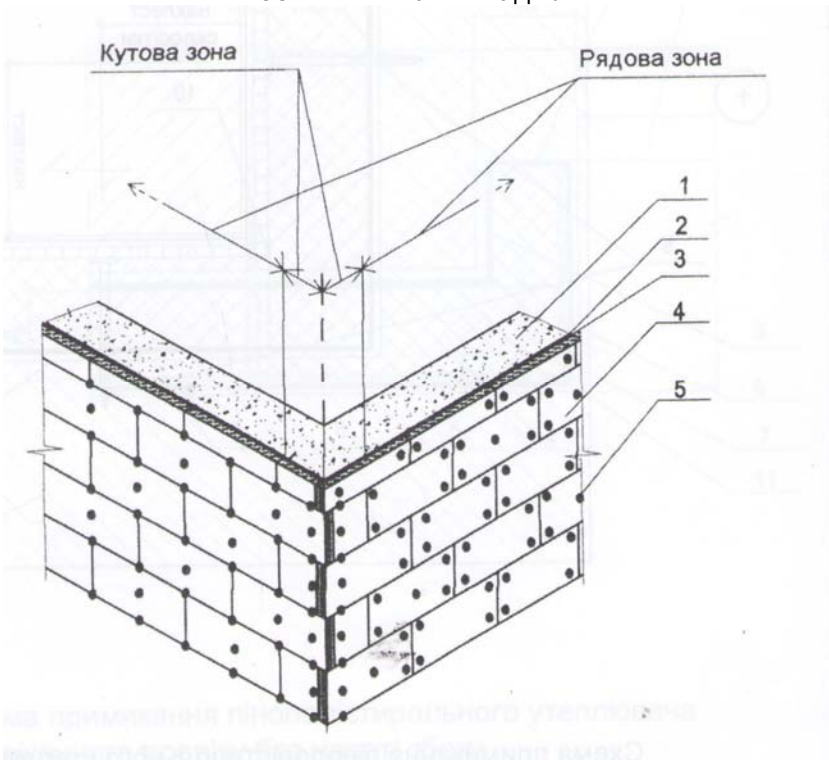
СХЕМА ПРИМИКАННЯ ПІНО ПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ДО
ЦОКОЛЯ – Варіант 2



А. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

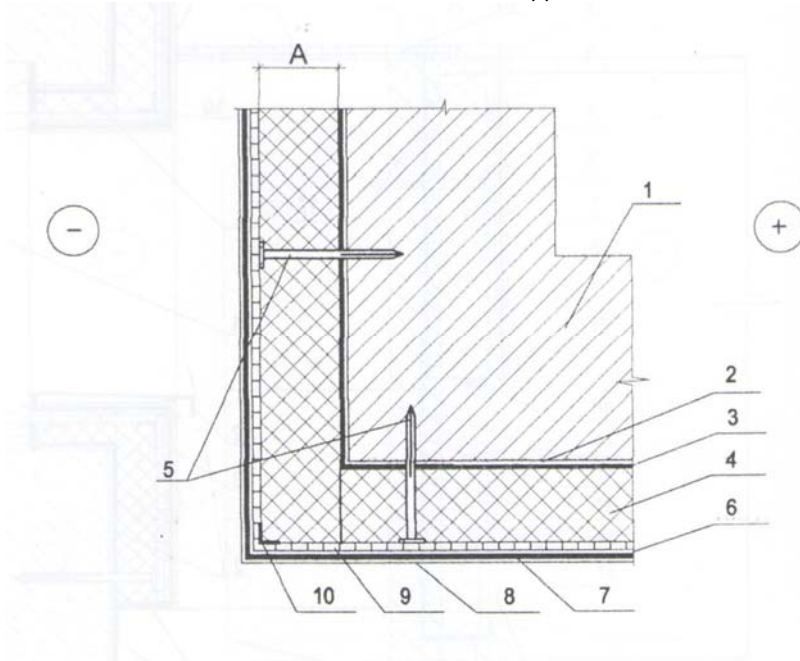
1. Огороджувальна конструкція стіни з цегли
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Цокольний профіль
11. Фундаментний блок
12. Гідроізоляція
13. Ущільнюючий шнур с герметиком
14. Гідроізоляція
15. Бітумний клей
16. Екструдований пінополістирол
17. Армована штукатурка з армувальною сіткою
18. Оздоблювальна цокольна штукатурка
19. Бітумна мастіка
20. Вимощення

ФРАГМЕНТ З'ЄДНАННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ПО
ЗОВНІШНІХ КУТАХ БУДІВЛІ



1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент

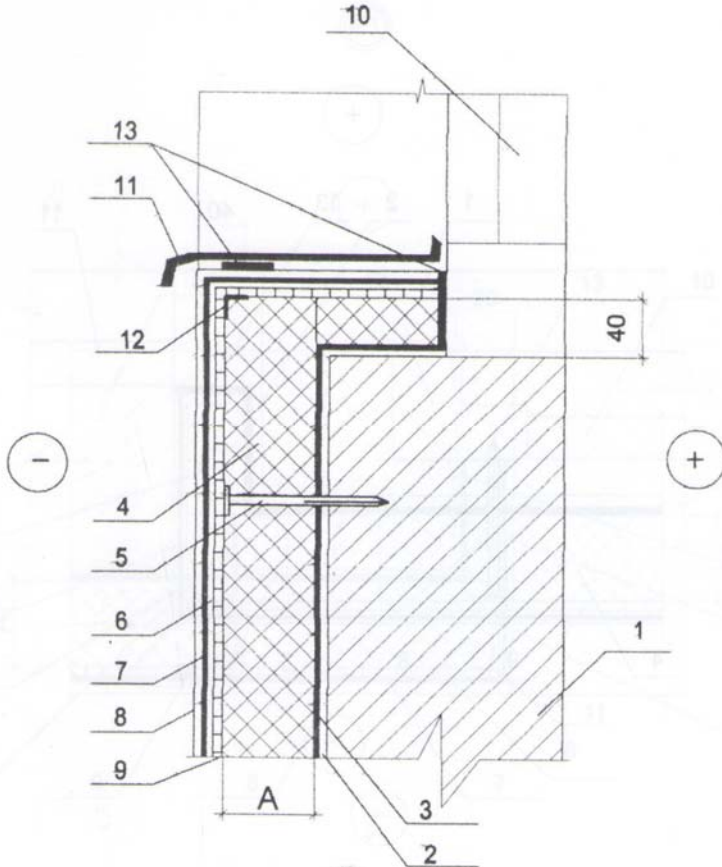
СХЕМА ПРИМИКАННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ПО
ЗОВНІШНІХ КУТАХ БУДІВЛІ



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Перфорований кутик

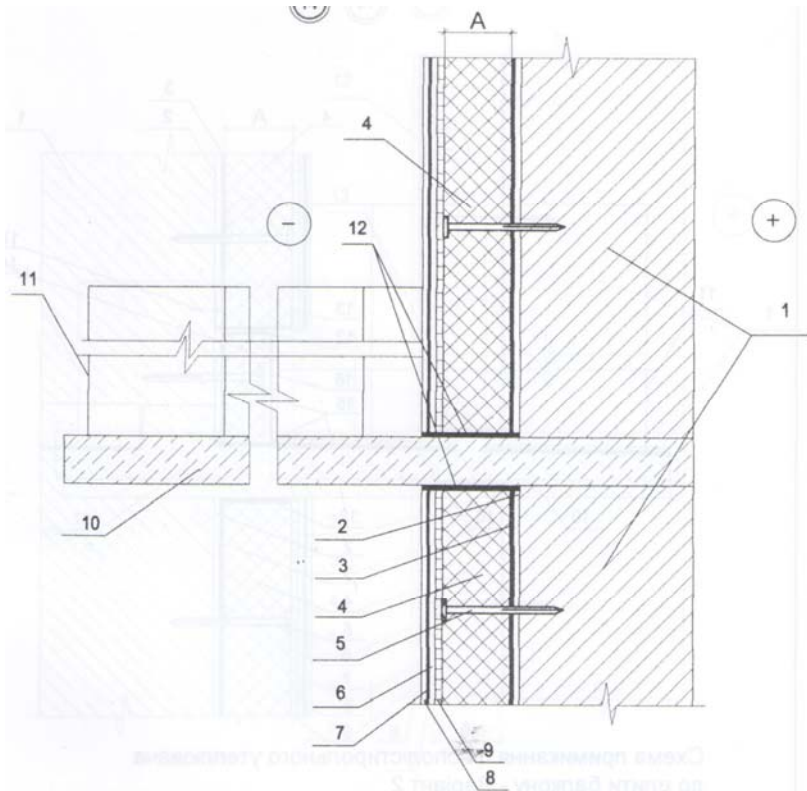
СХЕМА ПРИМИКАННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ДО
ВІКОННОГО ПРОРІЗУ БЕЗ ЧВЕРТІ ЗНИЗУ



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Віконний проріз
11. Підвіконний злив
12. Кутовий профіль з сіткою
13. Ущільнюючий шнур с герметиком

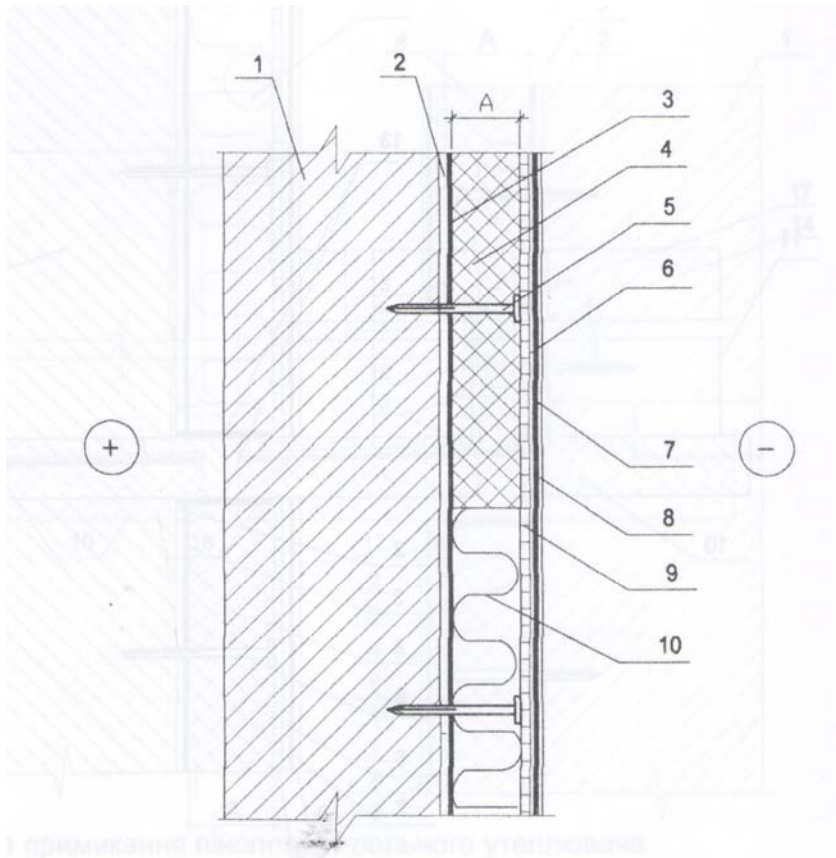
СХЕМА ПРИМИКАННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА ДО ПЛИТИ БАЛКОНУ



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Гінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Плита балкону
11. Огорожа балкону
12. Ущільнюючий шнур с герметиком

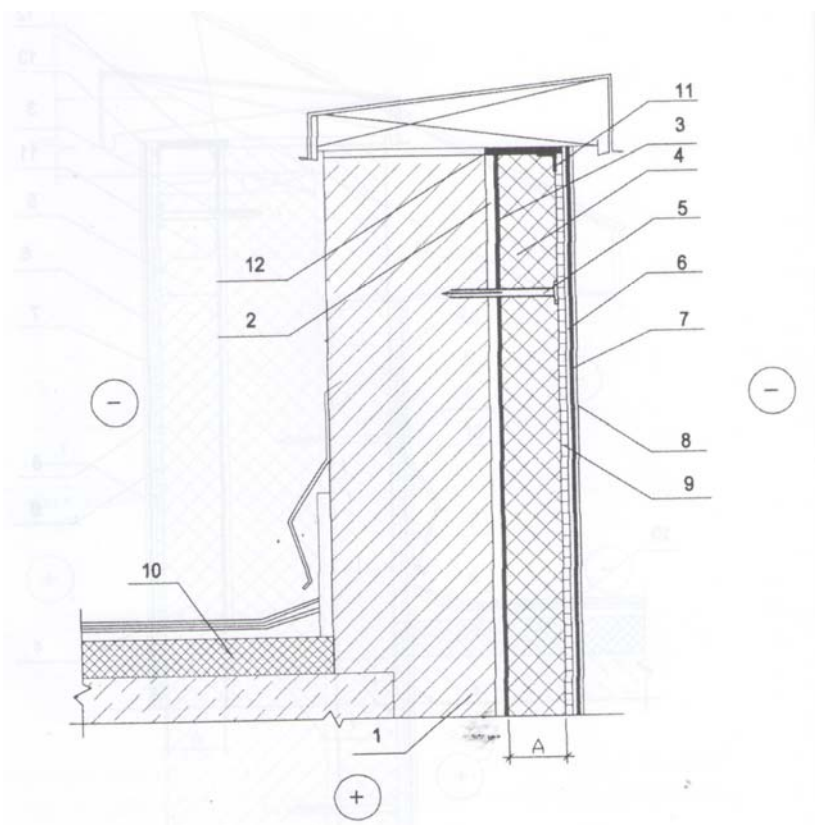
СХЕМА ПРИМИКАННЯ УТЕПЛЮВАЧІВ В ЗОНИ З'ЄДНАННЯ
ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО ТА МІНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛЮВАЧІВ



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком
згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною скпоіткою
10. Мінераловатний утеплювач

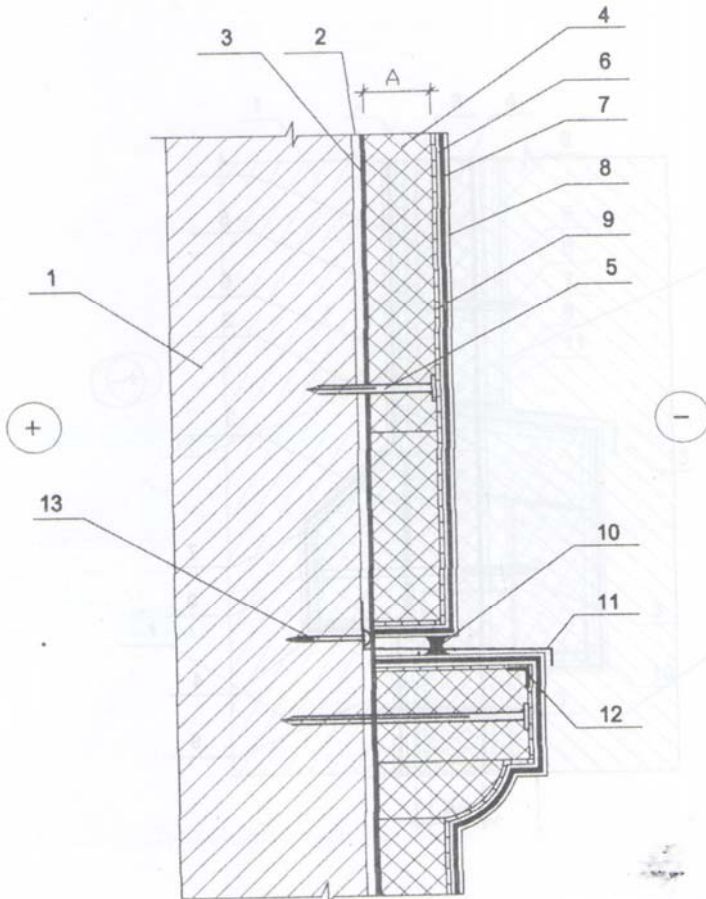
СХЕМА ПРИМИКАННЯ УТЕПЛЮВАЧА ДО ПАРАПЕТУ В БУДІВЛЯХ З НЕГОРЮЧОЮ ПОКРІВЛЕЮ



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Утеплювач покрівлі
11. Перфорований кутик
12. Ущільнюючий шнур с герметиком

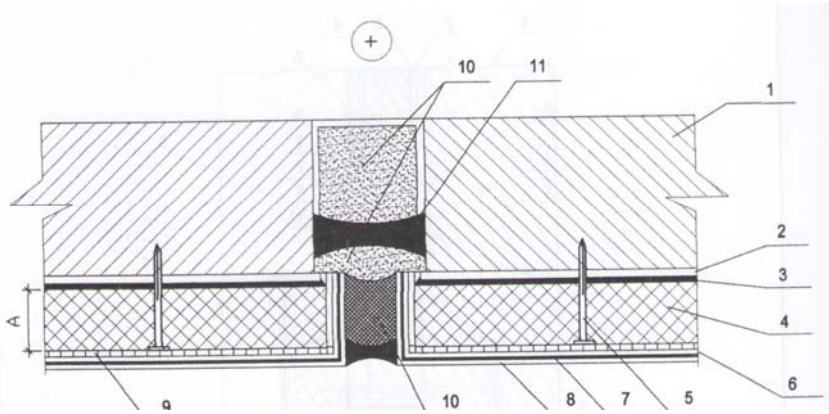
СХЕМА УЛАШТУВАННЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНОГО КАРНИЗУ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОГО УТЕПЛЮВАЧА



A. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Ущільнюючий шнур та герметик
11. Металевий злив
12. Кутевий профіль з сіткою
13. Дюбель

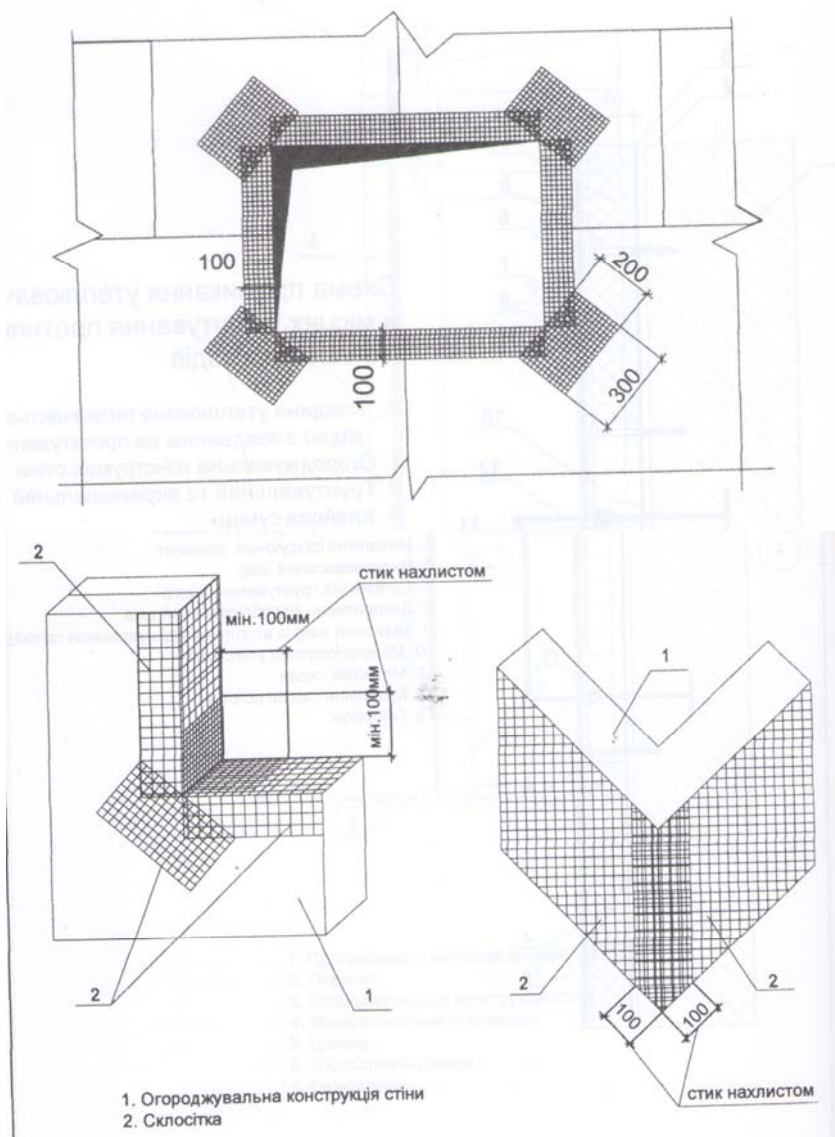
СХЕМА УЛАШТУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ШВА



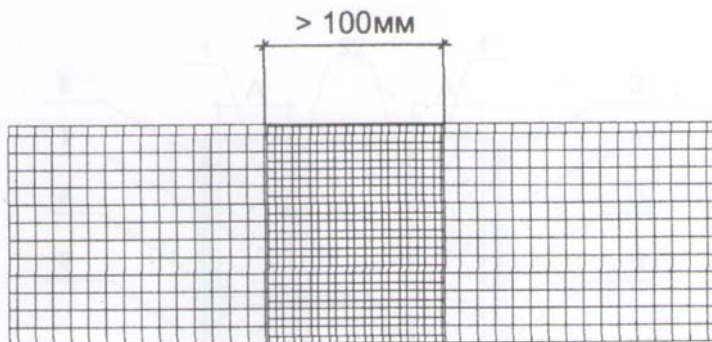
А. Товщина утеплювача визначається розрахунком згідно з завданням на проектування

1. Огороджувальна конструкція стіни
2. Грунтувальний та вирівнювальний шар
3. Клейова суміш
4. Пінополістирольний утеплювач
5. Механічно фіксуючий елемент
6. Вирівнювальний шар
7. Адгезійний грунтувальний шар
8. Декоративно-оздоблювальний шар
9. Захисний шар із втопленою армувальною склосіткою
10. Ущільнююча прокладка
11. Герметик

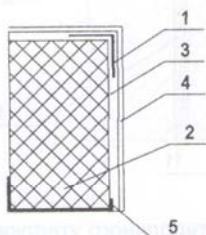
СХЕМА АРМУВАННЯ ПРОРІЗУ СКЛО СІТКОЮ



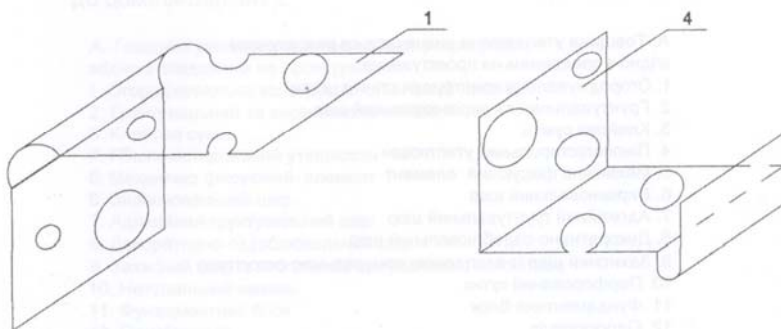
СТИК АРМУВАЛЬНОЇ СІЛКИ



ВУЗОЛ ЗМІЦНЕННЯ КУТОВИХ ВСТУПІВ



1. Перфорований кутик або кутовий профіль з сіткою
2. Пінополістирольний утеплювач
3. Вирівнювальний шар
4. Захисний шар із втпленою армувальною склосіткою
5. Цокольний профіль



Продукція «Кнауф Інсулейшн» на будівельному ринку України

Продукція «Кнауф Інсулейшн» на основі скляного штапельного волокна з ECOSE® Technology – це сучасні теплоізоляційні матеріали, які не містять фенолу, формальдегіду та акрилу. Вихідна сировина для їх виробництва – пісок, сода, вапно, доломіт, бура та інші натуральні компоненти. Скловолокно є еластичним та м'яким, тому вважається одним з кращих тепло- та звукоізоляційних матеріалів, завдяки великій кількості порожнин між волокнами, які заповнені повітрям. Крім того, теплоізоляція «Кнауф Інсулейшн» на основі скловолокна з ECOSE® Technology зручна у роботі – нею можна облицьовувати нерівні поверхні, конструкції будь-якої форми та конфігурації; вона приємна на дотик, легко ріжеться, створює менше пилу та має нейтральний запах.

Теплоізоляційні матеріали «Кнауф Інсулейшн» на основі скляного штапельного волокна з ECOSE® Technology мають широке коло застосувань. Вони використовуються для утеплення та звукоізоляції похилих покрівель, мансард, міжповерхових перекриттів, міжкімнатних перегородок, вентиляованих фасадів, фасадів «під сайдинг» та інших ненавантажених поверхонь.

Теплоізоляція «Кнауф Інсулейшн» на основі скляного штапельного волокна з ECOSE® Technology має низку переваг:

– *Екологічна безпека.*

Продукція «Кнауф Інсулейшн» виробляється з натуральної сировини на сучасному високотехнологічному обладнанні. Застосування інноваційної технології ECOSE® Technology дозволило позбавитися домішок формальдегідних і акрилових хімічних сполук у процесі виробництва скловолокнової теплоізоляції «Кнауф Інсулейшн». Таким чином, матеріали «Кнауф Інсулейшн» не тільки безпечні для здоров'я, але й є дружніми для людини і природного середовища. Продукція пройшла всі необхідні токсикологічні і радіологічні дослідження. Безпечність матеріалів підтверджується українськими висновками санітарно-гігієнічної експертизи.

– *Технологічність.*

Скловолоконна теплоізоляція – матеріал з підвищеною еластичністю, що гарантує щільне прилягання до стін та вузлів будівлі для запобігання утворення повітряних зазорів між конструкціями і теплоізоляцією. Ці матеріали відзначаються вібростійкістю, не схильні до осідання та розшарування.

– *Паропроникність.*

Скловолоконна теплоізоляція забезпечує безперешкодне проходження водяної пари через матеріал, зберігаючи оптимальний вологісний режим будівлі і конструкцій.

– *Хімічна та біологічна нейтральність.*

Теплоізоляційні матеріали «Кнауф Інсулейшн» з ECOSE® Technology не мають запаху, не вступають в реакцію з іншими будівельними матеріалами, а також не сприяють виникненню цвілі та бактерій. Матеріали є хімічно нейтральними і не містять шкідливих речовин.

– *Пожежна безпека.*

Продукція «Кнауф Інсулейшн» з ECOSE® Technology повністю відповідає вимогам щодо пожежної безпеки. Вони відносяться до класу негорючих матеріалів. Це означає, що застосування теплоізоляції «Кнауф Інсулейшн» з ECOSE® Technology не сприяє поширенню вогню і задимленню приміщень у разі виникнення пожежі.

– *Низька маса теплоізоляції.*

Використання легких мінераловатних плит і матів зі скловолокна знижує навантаження на несучу конструкцію будинку. Мала вага теплоізоляції спрощує транспортування і роботу з матеріалом на будівельному майданчику.

– *Додаткові переваги при доставці та зберіганні.*

Здатність теплоізоляційних матеріалів «Кнауф Інсулейшн» з ECOSE® Technology до стиснення дозволяє ущільнювати їх при упакуванні до 6 разів, що дає можливість істотно заощаджувати при транспортуванні та зберіганні. Натуральна теплоізоляція «Кнауф Інсулейшн» з ECOSE® Technology постачається на палеті в мультиупаковках, що полегшує процес завантаження-розвантаження, а міцна пакувальна плівка надійно захищає матеріал від дії факторів зовнішнього середовища.

«ТЕПЛОрулон 040» — універсальний теплоізоляційний матеріал на основі скловолокна, виготовлений із застосуванням ECOSE® Technology. Поставляється у вигляді матів, запованих у формі рулонів з додатковою компресією для зручності транспортування і зберігання. Має високі теплоізоляційні показники при малій вазі.

«ТЕПЛОрулон 041» – за властивостями майже не поступається продукту «ТЕПЛОрулон 040», є оптимальним рішенням для сектора приватного будівництва.

Застосування:

«ТЕПЛОрулон 040» рекомендований для використання в горизонтальних конструкціях без безпосереднього навантаження на матеріал, а саме для:

- підлог мансардних приміщень,
- міжповерхових і горищних перекриттів,
- підлог на лагах.

Можливе застосування матеріалу в скатних покрівлях, а також у вертикальних конструкціях – несучі зовнішні стіни, перегородки, призначені для ізоляції приміщень з різними температурними режимами. Матеріал монтується між несучими конструкціями враспор, без стиків в місцях з'єднання матів і конструктивних елементів.

«ТЕПЛОрулон 041» призначений для використання в похилих і горизонтальних конструкціях з установкою в каркасі враспор. Також допускається застосування матеріалу в вертикальних конструкціях.

Технічні характеристики:							
Найменування	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Кількість в упаковці			Кількість упаковок на палеті, шт.
				шт.	м ²	м ³	
ТЕПЛОрулон 040 - 15	6250	1200	50	2	15.00	075	40
ТЕПЛОрулон 040 - 24	10000	1200	50	2	24.00	1,20	24
ТЕПЛОрулон 041 -18	7500	1200	50	2	18.00	0,90	40



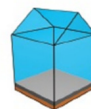
Показник	ТЕПЛОрулон 040	ТЕПЛОрулон 041
Коефіцієнт теплопровідності при 10°С, λ ₁₀ , Вт / мК	0,040	0.041
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, λ _A , Вт / мК	0,044	0.047
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, λ _B , Вт / мК	0,047	0.049
Паропроникність, ρ, мг/мчПа, не менше:	0,55	
Ступінь горючості	НГ	



Горищні перекриття



Міжповерхові перекриття



Підлоги на лагах



Похилі покриття

«ТЕПЛОплита 037» – універсальний теплоізоляційний матеріал на основі скловолокна, виготовлений із застосуванням ECOSE® Technology, поставляється у вигляді плит.

Застосування

«ТЕПЛОплита 037» чудово підходить для утеплення всього будинку. Матеріал має також звукопоглинальні властивості.

Рекомендується для застосування як теплоізолюючий шар в:

- скатних дахах;
- міжповерхових і горищних перекриттях;
- підлог на лагах (над підвалами та по ґрунту);
- каркасно-щитових стінових панелях несучих зовнішніх стін, перегородок, призначених для ізоляції приміщень з різними температурними режимами.

Матеріал монтується між несучими лагами врозпір

Таблиця 4.6

Технічні характеристики «ТЕПЛОплита 037»

Показник	Значення
Коефіцієнт теплопровідності при 10 °С, λ_{10} , Вт / мК	0.037
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, λ_A , Вт / мК	0.041
Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, λ_D , Вт / мК	0.043
Паропроникність, μ , мг/мЧПа, не менше:	0.550
Ступінь горючості	НГ

«Акустична перегородка» – звукоізоляційний матеріал на основі скловолокна, виготовлений із застосуванням ECOSE® Technology. Поставляється у формі плит. Матеріал характеризується підвищеною еластичністю. Під час виробництва матеріалу застосовується додаткова технологія, що дозволяє досягати високих показників звукопоглинання.

Застосування

«Акустична перегородка» застосовується у якості звукоізоляційного шару в конструкціях каркасно-обшивних перегородок систем сухого будівництва «КНАУФ» у всіх типах житла, громадських та промислових будівель і споруд:

- житлові будинки;
- адміністративні будинки, офіси;
- навчальні та дитячі дошкільні установи;

- кінотеатри та інші розважальні заклади;
 - лікарні і санаторії.
- Ступінь горючості – НГ

Таблиця 4.7

**Коефіцієнти звукопоглинання матеріалу
«Акустична перегородка», α (f)**

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц	Товщина матеріалу, мм	
	50 мм	100 мм
125	0.25	0.56
250	0.68	0.85
500	0.98	1.00
1000	1.00	1.00
2000	0.98	1.00
4000	0.94	1.00

Теплоізоляція «Кнауф Інсулейшн» на основі базальтового волокна (кам'яна вата) – це волокнистий матеріал, який отримують з силікатних розплавів гірських порід.

Матеріал має чудові енергозберігаючі, теплоізоляційні, звукоізоляційні та вогнетривкі властивості. Крім того, він характеризується високою паропроникністю, низьким водопоглинанням, біологічною і хімічною стійкістю, міцністю при деформації та на відрив шарів.

Асортимент продукції «Кнауф Інсулейшн» на основі базальтового волокна включає матеріали для різних сфер застосування: штукатурні фасади, вентилязовані фасади, плоскі покрівлі, підлоги по ґрунту, технічна теплоізоляція та інші.



Knauf Insulation WM 640 GGN / Knauf Insulation WM 660 GGN

Knauf Insulation WM 640 GGN / Knauf Insulation WM 660 GGN – рулонний теплоізоляційний матеріал з мінеральних волокон зв'язаних штучною смолою. Прошитий оцинкованою сіткою. Гідрофобізован в повному перерізі.

Застосування:

Knauf Insulation WM 640 GGN / Knauf Insulation WM 660 GGN призначений для тепло-, звуко- і протипожежної ізоляції технічних конструкцій, устаткування, трубопроводів, котлів, димарів, резервуарів. Максимальна температура становить 650° С.

Knauf Insulation WM 640 GGN / Knauf Insulation WM 660 GGN

– відрізняється підвищеною міцністю на стиснення і тому зберігає свою стандартну товщину при стисканні;

- стійкий до дії цвілі, мікроорганізмів і гризунів;
- хімічно нейтральний – не підвищує корозійну агресивність зовнішнього середовища при зіткненні з металом;
- легко пристосовується до різних форм конструкції;
- гранична позитивна температура ізольованих поверхонь – 650° С (за температуростійкістю мінераловатного шара);
- добре обробляється до будь-якого розміру;
- алюмінієва фольга є захисним і відображаючим шаром;
- під час перевезення, складування і монтажу повинна бути захищена від механічного і атмосферних впливів.

Knauf Insulation Thermo-teK LM Eco ALU

Knauf Insulation Thermo-teK LM Eco ALU – рулонний матеріал, що складається із смуг (ламелей), нарізаних з мінераловатних плит, і наклеєних на алюмінієву фольгу таким чином, що волокна розташовуються перпендикулярно площини підкладки.

Застосування:

Knauf Insulation Thermo-teK LM Eco ALU з поверхнею з алюмінієвої фольги застосовується як тепло-, звуко- і проти пожежна ізоляція будівельних конструкцій, для ізоляції трубопроводів, систем кондиціонування, вентиляційних і трубопровідних опалювальних пристроїв. Може застосовуватися в саунах, системах підлог, що обігріваються, в дерев'яних конструкціях. Максимальна температура 600° С. Температура на поверхні алюмінієвої фольги не може перевищувати 100° С.

Knauf Insulation Thermo-teK LM Eco ALU:

- відрізняється підвищеною міцністю на стиснення і тому зберігає свою стандартну товщину при стисненні;
- стійкий до дії цвілі, мікроорганізмів і гризунів;

- хімічно нейтральний – не підвищує корозійну агресивність зовнішнього середовища при зіткненні з металом;
- легко пристосовується до різних форм конструкції;
- гранична позитивна температура ізолюваних поверхонь 500°C (за температуростійкістю мінераловатного шару);
- добре обробляється до будь-якого розміру;
- алюмінієва фольга є захисним шаром, що відбиває тепло;
- під час перевезення, складування і монтажу повинні бути захищені від механічної дії і атмосферних впливів.

Knauf Insulation FKD

Плита **Knauf Insulation FKD** призначена для тепло-, звуко- і пожежної ізоляції фасадів і зовнішніх стін конструкцій з зовнішньої сторони з наступним штукатурним оздобленням по армуючій склосітці. Розрахункова температура зовнішнього повітря від + 60 до -70 °С.

Характеристика

Плита **Knauf Insulation FKD** виготовляється з мінеральної вати, пов'язаної синтетичною смолою з підвищеною гідрофобізацією в повному перерізі.

Застосування

Плита **Knauf Insulation FKD** призначена для тепло-, звуко- і пожежної ізоляції фасадів і зовнішніх стін конструкцій з зовнішньої сторони з наступним штукатурним оздобленням по армувальній склосітці. Розрахункова температура зовнішнього повітря від + 60 до -70 °С.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ

Плита Knauf Insulation FKD:

- має низьку теплопровідність — чудові ізоляційні властивості;
- негорюча — підвищує пасивну безпеку будівлі;
- має акустичні властивості - дозволяє досягти високих значень коефіцієнта звукопоглинання конструкцій;
- плита дифузійна с підвищеною полімеризацією;
- біологічно стабільна — при правильному застосуванні зберігає свої ізоляційні властивості;
- стійка до дії мікроорганізмів і гризунів;
- хімічно нейтральна — стійка до лужного середовища, не підвищує корозійну агресивність зовнішнього середовища при зіткненні з металами;
- відрізняється стабільністю об'єму і форм з мінімальним лінійним і тепловим розширенням, довговічністю;

- відрізняється високою міцністю на розтягування (відрив шарів), статично несуча, кріпиться за допомогою клею та дюбелів;
- виготовляється з високою точністю розмірів, що підвищує якість монтажу на фасаді;
- добре обробляється до будь-якого розміру;
- при перевезенні, складуванні і монтажі потребує захисту від атмосферних впливів.

Knauf Insulation FKD-S

Плити **Knauf Insulation FKD-S** призначені для тепло-, звуко- та протипожежної ізоляції зовнішніх стін та інших конструкцій з зовнішньої сторони з подальшим штукатурним облицюванням по армуючій склосітці.

Плити **Knauf Insulation FKD-S** виготовляються з базальтового волокна, зв'язаного синтетичною смолою, з підвищеною гідрофобізацією в повному перерізі.

Застосування:

Плити **Knauf Insulation FKD-S** призначені для тепло-, звуко- та протипожежної ізоляції зовнішніх стін та інших конструкцій з зовнішньої сторони з подальшим штукатурним облицюванням по армуючій склосітці.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ

Переваги:

- Відмінні теплоізоляційні властивості ($\lambda = 0,036$ Вт/м·К).
- Висока повітро- та паропроникність.
- Чудові звукопоглинаючі властивості.
- Хімічна та біологічна стійкість.
- Стабільність форми та об'єму.
- Зменшення необхідної товщини теплоізоляції.
- Зменшення навантаження на конструкцію будівлі
- Легкість у застосуванні
- Підвищення пасивної пожежної безпеки будівлі.

Економія гарантована:

- при перевезенні Knauf Insulation FKD-S на склад чи будівельний майданчик — до 10% економії;
- при застосуванні більш коротких анкерів для кріплення фасадної системи — до 20% економії;
- при застосуванні вужчого підвіконня та профілів мансард за рахунок зменшення товщини фасадної системи — до 12% економії;
- при застосуванні менших смуг теплоізоляції навколо виступів та перемичок, а також в кутках — до 10% економії.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

П. В.Захарченко, О. М. Гавриш,
Р. Д. Захаренков, А. В. Павлик

ТОВАРОЗНАВСТВО
ТЕПЛО- ТА ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ В
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ

ПІДРУЧНИК

Видання 2, виправлене та доповнене

Оригінал-макет підготовлено
ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»

Підписано до друку згідно рішення Вченої Ради
Уївського національного університету будівництва і архітектури 31.05.2019 р.
Формат 60x84 1/16. Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 25,0. Тираж 500 прим.

ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»
вул. Іорданська, 14-а, м. Київ 04210
тел./факс 044-425-01-34

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 4162 від 21.09.2011 р.