

**Бурлака О.О.,**

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка  
м. Харків, Україна  
E-mail: aburlaka1@gmail.com

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕГРОЕФЕКТИВНОСТІ  
ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ  
ШЛЯХОМ УЛАШТУВАННЯ  
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ  
ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА**

УДК 691.328

*Розглянуто можливість підвищення енергоефективності деревообробних підприємств шляхом улаштування теплоізоляції на основі відходів їх виробництва. Досліджено основні фізико-механічні та теплотехнічні показники арболіту і можливість його виробництва на базі деревообробних підприємств.*

**Ключові слова:** енергоефективність, теплоізоляція, арболіт, теплопровідність, деревообробні підприємства, тирсобетон

**Вступ.** Одним із основних напрямків розвитку деревообробної промисловості на сьогоднішній день є комплексне підвищення енергоефективності підприємств. Воно включає в себе не тільки застосування більш точних та економічних механізмів безпосередньо у процесі розкрою деревини та обробки її поверхні. Також велику увагу слід приділити втратам енергії що супроводжують виробництво пиломатеріалів у холодний період року.

Технологічний процес деревообробки не потребує особливого температурного режиму, однак наявні санітарні норми передбачають забезпечення у деревообробному цеху певної температури для забезпечення здоров'я персоналу. В умовах постійного збільшення вартості енергоносіїв опалення стає однією із головних статей у структурі витрат деревообробного підприємства.

**Мета і постановка задачі.** Необхідно розробити ефективне рішення щодо забезпечення у виробничих приміщеннях деревообробних підприємств достатнього рівня тепла за рахунок використання сучасного досвіду виробництва та застосування теплоізоляційних будівельних матеріалів. Особливої уваги потребує зниження вартості виробництва.

**Результати досліджень.** Особливістю опалення деревообробних підприємств є те, що вони, як правило, розташовуються у некапітальних спорудах, застосування до яких сучасних технологій утеплення на основі багатошарової конструкції із ефективних тепло- та гідроізоляційних матеріалів є проблематичним. Разом із тим техніка безпеки не дозволяє використовувати на таких підприємствах локальні нагрівальні пристрої із відкритим нагрівальним елементом чи відсіком для згоряння палива.

На сьогоднішній день у практиці забезпечення енергоефективності будівель та споруд спостерігається тенденція до зниження до мінімальних значень притоку тепла до будівлі при забезпеченні достатнього коефіцієнту термічного опору для огорожувальних конструкцій, дахів та підвалів будинків[1]. Разом із тим відходи деревообробки: тирса, стружка, щіпа мають достатньо низькі показники теплопровідності. Вони добре відомі у будівельному матеріалознавстві як сировина для виробництва опоряджувальних та теплоізоляційно-конструкційних матеріалів.

Матеріали, відомі як арболіт та тирсобетон виробляються багатьма підприємствами на усій території України. Разом із тим щодо ефективних теплоізоляційних матеріалів на основі тирси існують невирішені задачі, пов'язані як із суто матеріалознавчими питаннями, так і з технологічними та логістичними. До найбільш спірних питань відноситься проблема вибору в'язучого для утворення ефективного теплоізоляційного композиту. На сьогоднішній день широко використовуються три види в'язучого: синтетичні

клеї, портландцемент та в'яжучі повітряного твердіння до яких можна зарахувати і глинисті матеріали[2].

Перевагою теплоізоляційних матеріалів, у яких у якості в'яжучого використовуються синтетичні клеї є висока адгезія в'яжучого до деревинних компонентів. Внаслідок цього а також високої відносно неорганічних в'яжучих речовин когезійної міцності проміжки в'яжучого між окремими деревинними рештками є мінімальними, що сприяє зниженню ваги готового виробу та забезпечує найкращі теплоізоляційні властивості. Головним недоліком синтетичних клеїв є їхня висока вартість та неможливість забезпечити захисний шар навколо решток деревообробки, що у вологих умовах схильні до набухання та гниття.

Особливістю матеріалів на портландцементній основі є їх універсальність. Вони одночасно мають достатньо низький коефіцієнт теплопровідності, є дешевими у порівнянні із органічними клеями, технологія їх виробництва є широко відомою і вони можуть формувати навколо деревинних елементів захисний шар, що запобігає намоканню тирси чи стружки. Разом із тим на відміну від клейових складів портландцементний камінь здатний деформуватися пластично тільки у дуже невеликих межах. Крім того існує проблема низького ступеню адгезії цементного каменю до поверхні деревини. Вона пов'язана із виділенням з деревини лігніноподібних речовин, які виступають у якості уповільнювачів процесу гідратації цементу. В результаті вищезазначеного для отримання арболіту необхідної міцності треба збільшувати витрати цементу, що призводить до збільшення середньої густини та теплопровідності матеріалу[4].

Глина та інші неводостійкі в'яжучі речовини не мають необхідної надійності і можуть використовуватися лише для створення матеріалів, які будуть використані у тимчасових спорудах або всередині приміщень. При цьому площа приміщень буде зменшуватися. Разом із тим використання повітряних в'яжучих є найдешевшим варіантом.

З огляду на те, що основним параметром ефективності зниження втрат тепла виступають низька вартість та неутручання в основний виробничий процес, найбільш доцільним виявляється зовнішнє утеплення приміщення матеріалами на основі відходів виробництва та портландцементу. На сьогодні існує декілька видів будівельних виробів, у формі яких випускається теплоізоляційно-конструкційний арболіт[3]:

1) Щепно-цементні стінові блоки (арболіт, дюрисол), які по своєму об'єму на 80-90% складаються з крупної щепи хвойних порід дерев, що пройшли обробку мінеральними добавками і скріплені портландцементом (M400, M500). Для виготовлення застосовується метод холодного вібропресування із наступним сушінням у природних умовах. Арболіт – це повнотілі щепно-цементні блоки і стінові панелі для зведення малоповерхових будівель. Дюрисол (Durisol) – щепно-цементні стінові блоки, які при будівництві відіграють роль незнімаємої опалубки. Щепоцементна опалубка Durisol призначена для монолітного будівництва, у тому числі споруд несучих стін і перегородок будинків висотою до 4 і більше поверхів

2) Цементно-стружкові плити(ЦСП) – достатньо новий композиційний листовий будівельний матеріал. ЦСП виготовляються методом пресування відформованої суміші із дрібною стружкою деревини хвойних порід (до 90 відсотків об'єма), портландцементу, хімічних добавок і води. Отримані вироби товщиною 10-36 мм мають гладку і тверду поверхню. ЦСП застосовуються як конструкційний, теплоізоляційний і оздоблювальний матеріал, застосовуються для виробництва сендвіч-панелей для каркасних будинків (зовнішня обшивка несучого дерев'яного каркасу), фасадних термопанелей – багатопверхових конструкцій з утеплювача та морозостійкої керамічної плитки, в збірних стяжках плоских покрівель, у якості опалубки, що не знімається, при оздобленні садових доріжок, тощо.

Найбільш простим із перелічених варіантів є застосування пористого арболіту у вигляді плит або блоків, із яких на портландцементному розчині викладається зовнішня стіна. Таке рішення не потребує застосування спеціальних анкерних та утримуючих пристроїв. Конкретна геометрія теплоізоляційних виробів визначається необхідним значенням термічного опору конструкції, який відповідно до ДБН В. 2.6 -31-2006[1] визначається виходячи із однієї з чотирьох кліматичних зон і фактичним її значенням, яке за тим самим документом визначається в залежності від досягнутого коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного матеріалу  $\lambda$ :

$$R_{\Sigma пр} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_з}, \quad (1)$$

де  $\alpha_з, \alpha_в$  – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda_{ip}$  – теплопровідність і-того шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К);

$\delta_i$  – товщина і-того шару огорожувальної конструкції, м[5].

Для визначення фактичної теплопровідності легкого тирсобетону були виготовлені спеціальні зразки розміром 250×250×20 мм, які піддавалися дослідженню. Було визначено густину теплового потоку:

$$q_u = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

Термічний опір зразка, що досліджується:

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_m} - 2R_k. \quad (3)$$

І його коефіцієнти теплопровідності при різній сорбційній вологості матеріалу:

$$\lambda_{eff} = \frac{a_u}{R_u}. \quad (4)$$

Результати випробувань двох серій знасків із різною забезпеченою міцністю наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Середні значення експериментальних коефіцієнтів теплопровідності  $\lambda_{c\text{ eff}}$  та  $\lambda$  тирсобетону класів В2,5 та В5 при сорбційній вологості, що дорівнює 4%**

Серія	Кількість, шт	W <sub>c</sub> , %	$\lambda_{c\text{ eff}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\frac{\lambda - \lambda_{c\text{ eff}}}{\lambda_{c\text{ eff}}}$
A (В2,5)	5	4,0	0,23	0,25	8,87
B (В5)	5	4,0	0,32	0,36	12,5

Використовуючи методику, викладену у літературі [1] із визначеними раніше коефіцієнтами теплопровідності тирсобетону і розчину швів кладки на другому етапі розраховується приведений термічний опір кладки.

Для цього площинами, паралельними напрямку теплового потоку, частина кладки умовно розрізається на ділянки, із яких одні можуть бути однорідними (одношаровими) – з одного матеріалу, інші -неоднорідними, тобто складатися із шарів різних матеріалів і визначається термічний спротив матеріалів  $R_{ат}$ :

$$R_{ат} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (5)$$

де  $F_1, F_2 \dots F_n$  –площі окремих ділянок стіни;

$R_1, R_2 \dots R_n$  – термічний спротив цих ділянок, що визначається за формулою для однорідних ділянок та за формулою для неоднорідних ділянок.

Площинами, що перпендикулярні до напрямку теплового потоку частина кладки умовно розрізається на однорідні та неоднорідні шари. Термічний опір частини кладки при перпендикулярному розбитті  $R_T$  знаходиться як сума термічних опорів окремих однорідних і неоднорідних шарів.

Наведений термічний опір частини кладки в цілому визначається за формулою:

$$R_k^r = \frac{R_{at} + 2R_T}{3} \quad (6)$$

Коефіцієнт теплопровідності кладки визначається за формулою:

$$\lambda_{ku} = \frac{\delta}{R_k^r} \quad (7)$$

У іншому досліді [6] було досліджено вплив фракційного складу арболіту на його теплопровідність та міцнісні показники. Було виготовлено шість зразків матеріалу, які відрізнялися один від одного як вмістом різних фракцій відходів деревини, так і кількістю цементу (табл. 2)

Таблиця 2

**Склади арболітових сумішей**

Но- мер за- місу	Технологічна щепа, м <sup>3</sup>	Тирса, м <sup>3</sup>	Цемент, кг	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , кг	Вода, л
1	1,3	0	360	12,5	200
2	1,15	0,15	360	12,5	200
3	1,1	0,2	360	12,5	200
4	1,05	0,25	360	12,5	200
5	1,0	0,3	360	12,5	200
6	0,9	0,4	400	12,5	200

Зразки являли собою стандартні куби розміром 150×150×150 мм, які випробовувалися у віці 28 діб. Результати визначення середньої густини матеріалу та його міцності на стиск наведені на рис. 1 та 2 відповідно.

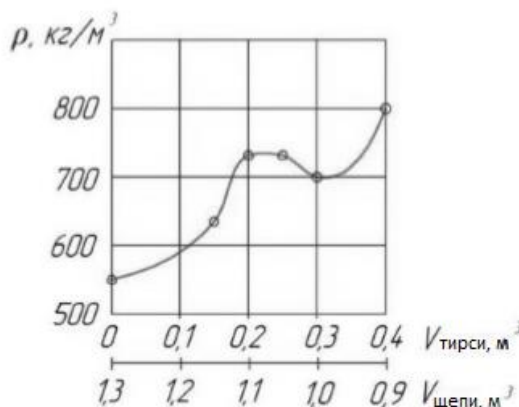


Рис.1 – Залежність густини зразка від фракційного складу арболіту

Виходячи із отриманих значень густини матеріалу можна вважати, що його теплопровідність також буде збільшуватися пропорційно до збільшення вмісту дрібної фракції органічного заповнювача. Це можна пояснити тим, що при замішуванні тирси із цементним тістом кожна її частка огортається шаром цементного тіста і стискається ним. Це призводить до того, що сумарна пористість матеріалу, яка зумовлена саме порами у

деревині знижується. Крім того, варто звернути увагу на те, що більш дрібні частки пружного матеріалу здатні укладатися у форму більш компактно[6].

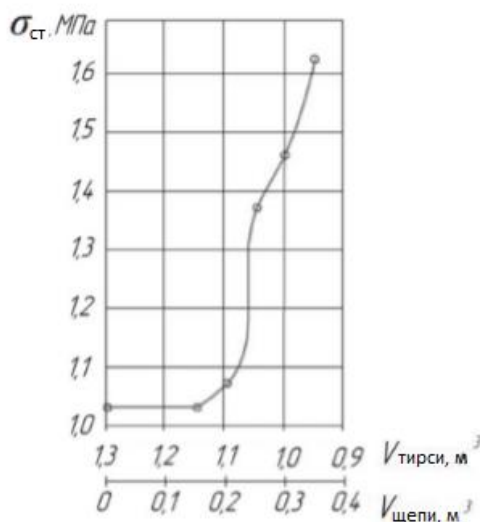


Рис. 2 – Залежність міцності арболіту при стиску від фракційного складу.

Результат визначення міцності при стиску зразків і його порівняння із показниками густини доводить, що за рахунок підбору складу арболітової суміші можливо отримати таких склад, який при незначній густині буде мати достатні показники міцності для того, щоб отримані із нього блоки можна було використовувати для кладки стін, якими буде ззовні утеплено деревообробне підприємство.

Таким чином можна вважати, що можливість створення ефективної системи зберігання тепла на основі матеріалу, який отримується із широко доступних компонентів є доведеною. Однак варто звернути увагу на саму технологію виробництва теплоізоляційного арболіту. Ця технологія включає в себе наступні операції: підготовку деревинних рештків, підготовку та змащування форм, приготування арболітової суміші, формування виробів, ущільнення суміші, витримку та розпалубку виробів [7].

Підготовка деревинних рештків полягає у замочуванні їх у рідкому склі, що надійно ізолює поверхню тирси чи щепи від цементного каменю і підвищує адгезію. Змащування форм, формування та ущільнення можуть виконуватися на одній ділянці, розмір якої визначається розміром форм. До обладнання, яке необхідно для цієї ділянки відносяться пристрої для змащування форми (гідравлічні або ручні) та плесувальне або вібраційне обладнання, яке здійснює ущільнення. Поруч із формувальною ділянкою має розташовуватися ділянка для приготування суміші. Приготування арболітової суміші варто проводити у бетонозмішувачах примусової дії, оскільки жорстка суміш, що містить у собі волокна здатна забивати змішувачі гравітаційної дії.

Також варто виділити виробничі площі для витримування свіжовідформованих виробів. Оскільки термічна обробка продукції не передбачається, площі для витримування арболіту мають бути достатніми для того, щоб вмістити продукцію, яка виробляється протягом 6-8 робочих днів. Витримка арболіту на відкритому повітрі є небажаною навіть за умови, що виробництво налагоджено у літній період, оскільки висихання суміші протягом вказаного періоду часу може значно знизити міцність кінцевого матеріалу.

Також варто зазначити, що економічна привабливість зумовленої схеми включає в себе можливість використовувати отриманий матеріал не тільки для забезпечення енергоефективності виробництва, але і для зменшення витрат на опалення у адміністративних та побутових будівлях, що входять до складу деревообробного підприємства. Крім

того можна організувати комерційне використання цієї продукції у довгостроковій перспективі.

**Висновки.** Енергоефективність виробничих приміщень деревообробних підприємств у холодний період року може бути досягнута за рахунок використання в огорожувальних конструкціях теплоізоляції на основі відходів самого виробництва. Проведені випробування показали, що міцнісні та теплоізоляційні показники арболіту дозволяють використовувати його як ефективний теплоізоляційний матеріал для стін та покриттів. Виробництво блоків та плит з арболіту можна організувати безпосередньо у самому деревообробному цеху або у підсобному приміщенні поруч із ним.

### Литература

1. ДБН В. 2.6 -31-2006. Теплова ізоляція будівель.
2. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві : навч. посіб. / Л. Й. Дворкін, К. К. Пушкарьова, О. Л. Дворкін [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2009. – 339 с.
3. Сафин Р.Г. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов/ Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О//Вестник Казанского технологического университета. – 2015 – С. 139-142
4. K.Anandaraju. Experimental Investigation of Papercrete Brick. / K.Anandaraju , V.Jose Ravindra Raj , R.Vijaya//Sarathy International Journal of Machine and Construction Engineering. –2015 – Volume 2 – Issue 2 – pp 26-30
5. Лебедев М.А. Экспериментальные исследования коэффициента теплопроводности кладки из опилкобетонных кирпичей/ Лебедев М.А., Лихачёва С.Ю. – Вестник МГСУ – 2011 – №3 – С. 89-94
6. Сеничев В.П. Влияние фракционного состава довесного заполнителя на физико-механические показатели арболита/ Сеничев В.П., Воропай Л.М., Осипов Ю.Р., Шлыков С.А// Вестник Череповецкого государственного университета. - 2015 – №6 – С. 47-50
7. Филичкина М.В. Выбор состава смеси для древесно-композиционного материала на основе отходов промышленного производства/ Филичкина М.В. Сушков А.С// Строительные и дорожные машины. - 2014 – №2 – С. 15-18

### Summary

**Burlaka O.O.** Increasing the energy efficiency of woodworking enterprises by integration of heat insulation based on waste manufacturing

*The possibility of increasing energy efficiency of woodworking enterprises by means of arrangement of thermal insulation on the basis of their production bases is considered. The basic physicomechanical and heat engineering parameters of the argolith and its production on the basis of woodworking enterprises are investigated.*

**Keywords:** energy efficiency, heat insulation, arbolith, thermal conductivity, woodworking enterprises, girder concrete

### References

1. DBN V. 2.6 -31-2006. Teplova izoljacija budivel'.
2. Dvorkin L.J. Viktoristannja tehnogennih produktiv u budivnictvi : navch. posib. / L. J. Dvorkin, K. K. Pushkar'ova, O. L. Dvorkin [ta in.]. – Rivne : NUVGP, 2009. – 339 s.

3. Safin R.G. Sovremennye stroitel'nye kompozicionnye materialy na osnove drevesnyh othodov/ Safin R.G., Stepanov V.V., Hajrullina Je.R., Gajnullina A.A., Stepanova T.O//Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2015 – S. 139-142
4. K.Anandaraju. Experimental Investigation of Papercrete Brick. / K.Anandaraju , B.Jose Ravindra Raj , R.Vijaya//Sarathy International Journal of Machine and Construction Engineering. – 2015 – Volume 2 – Issue 2 – pp 26-30
5. Lebedev M.A. Jeksperimental'nye issledovanija kojeficienta teploprovodnosti kladki iz opilkobetonnyh kirpichej/ Lebedev M.A., Lihachjova S.Ju. – Vestnik MGSU – 2011 – №3 – S. 89-94
6. Senichev V.P. Vlijanie frakcionnogo sostava doevesnogo zapolnitelja na fiziko-mehaničeskie pokazateli arbolita/ Senichev V.P., Voropaj L.M., Osipov Ju.R., Shlykov S.A// Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015 – №6 – S. 47-50
7. Filichkina M.V. Vybor sostava smesi dlja drevesno-kompozicionnogo materiala na osnove othodov promyshlennogo proizvodstva/ Filichkina M.V. Sushkov A.S// Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2014 – №2 – S. 15-18