

# ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 76.01

DOI 10.31649/2311-1429-2024-1-183-188

В. Г. Петрук  
В. А. Іщенко  
Р. В. Петрук  
С. М. Кватернюк  
І. В. Васильківський

## ДЕРЕВООЩАДЛИВА ТЕХНОЛОГІЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИНТЕТИЧНОГО ПАПЕРУ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

*Папір, як і винахід колеса, – одне з найбільших завоювань людства. При цьому обсяги його виробництва постійно зростають, а запасів деревини, з якої його виготовляють, стає все менше. Відповідно, завдається значна шкода природі і, якщо людство не зупиниться в ненаситному бажанні зменшення зелених насаджень, то незабаром, зокрема, атмосфера Землі стане непридатною для існування практично усіх видів життя. Тому потрібно бережливо ставитись до лісових ресурсів, щоб зберегти екологічну рівновагу на планеті. Крім деревини для виробництва паперу за традиційними «дерев'яними» технологіями доводиться використовувати багато води та електроенергії, зокрема, для виготовлення 1 тонни паперу у технологічному процесі донедавна використовувалось до 1000 тонн води. Крім того, після виробничого процесу ці забруднені води потрапляють у водні об'єкти та навколишнє середовище. Також суттєвою небезпекою є вогонь і легка здатність паперу до займання. При цьому 20 % світової заготівлі деревини приходить на паперове виробництво, що викликає обґрунтований спротив екологів. Тож, з позицій декарбонізації економіки України і світу важливо відмовлятися від традиційних деревних технологій і шукати альтернативні деревоощадливі способи і методи виробництва паперових виробів та відповідних будівельних матеріалів з використанням паперу.*

**Ключові слова:** декарбонізація, синтетичний папір, целюлоза, деревоощадлива технологія, будівельні матеріали, екологічна безпека, технології захисту довкілля.

**Метою** роботи є удосконалення технології виробництва синтетичного паперу та відповідних будівельних матеріалів на основі природних карбонатно-каолінових сумішей з додаванням поліолефінових та інших пластмасових відходів.

### Вступ

Папір – це матеріал із масою до 250 г/м<sup>2</sup>, що складається значною мірою з рослинних волокон, зв'язаних між собою силами поверхневого зчеплення за рахунок проклеювальних речовин, мінеральних наповнювачів, пігментів, барвників та інших необхідних інгредієнтів в залежності від сфери застосування (фільтрування, писання та малювання, сорбції, електроізоляції, пакування, офсетного друку, шпалер тощо). Китайські Літописи переконують, що першовідкривачем паперу з 105 р. н. е. був Цай Лунь, який виготовляв папір з прядива, волокон шовковиці та деревної золи. Через деякий час у виробництві паперу додавали крохмаль, клей, природні барвники та інше. Лише через декілька століть паперова технологія потрапила до Єгипту (до цього там використовували папірус), далі і до Європи (Італія, Іспанія, Франція, де почали функціонувати паперові майстерні та млини при монастирях), а потім папірні по усій Європі. Перші згадки про виробництво власного паперу на території сучасної України припадає на 1200-і роки (Галич).

### Технологія виготовлення деревного паперу

Вона базується на використанні целюлози та деревної маси. Як сировину, частіше всього, використовують ялину, сосну, березу та інші породи дерев, а також соломку, бавовну, льон, макулатуру, опале листя тощо. Після очищення деревних колод від кори, їх подрібнюють в тріску, а далі розводять водою з утворенням целюлозно-лігнінової маси, витримують для розпускання і набухання волокон целюлози. При цьому існує декілька способів хімічної обробки целюлози, але головні з них – сульфатний та сульфідний.

**Сульфатна (крафт) целюлоза** отримується в результаті тривалого варіння (10-12 годин) целюлозно-лігнінової маси у лужному розчині (наприклад, суміш NaOH та Na<sub>2</sub>S).

**Сульфідна технологія** передбачає варіння маси (1-2 години) у кислотному розчині (наприклад, суміш сульфідної кислоти H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> чи її солей та сірководню H<sub>2</sub>S). Ці процеси необхідні, щоб позбавитися **лігніну**, який легко розчиняється у гарячих вищезазначених розчинах, а потім відфільтровується. Далі целюлозні волокна багатократно відмиваються, потім відбілюються,

пресуються та сушаться. Подальший технологічний процес передбачає додавання крохмалю, як клею, каоліну, крейди та інших добавок для поліпшення функціональних властивостей паперу: кольору, міцності, білизни та ін.), Далі відбувається каландрування (пропускання маси через сталеві циліндри, які формують папір необхідної форми та товщини). Закінчується процес різанням на різальних верстатах, змотуванням у рулони та пакуванням на обгортковій машині.

При цьому гігроскопічність целюлозного паперу з деревини зумовлена полярними гідроксильними групами, що споріднені як до молекул води, так і капілярів у структурі матеріалу. Під час виготовлення композиційних матеріалів пористість на основі дерева може сягати 10-20 %. У синтетичного паперу та відповідних електро- та теплоізоляційних будівельних матеріалів, шпалер тощо кількість пор та тріщин не більше 1-2 %, тобто такі синтетичні композити значною мірою гідрофобні. Серед синтетичних волокон замість деревного паперу використовуються поліпропіленові, поліетиленові, полістірольні, арамідні (кевлар на основі карбону) та інші, зокрема поліолефінові добавки, яких багато у побутових та промислових відходах. Вище зазначені добавки мають стереорегулярні волокна, які повністю замінюють целюлозу і крохмаль у деревному папері, володіють високими діелектричними, тобто електро- та теплоізоляційними властивостями в умовах високої відносної вологості навколишнього середовища, є міцними з температурою розм'якчення в околі 150-170°C. Отже, ці зв'язувальні волокнисті полімерні матеріали мають морфологію близьку до целюлозних волокон і можуть бути використані у виробництві синтетичного паперу, як інгредієнти разом із природними добувними матеріалами, такими як вапняк, каолін тощо[1,2,5].

### **Екологічні аспекти і ризики виробництва паперу із дерева**

1. 20 % населення індустріально розвинених країн використовують 85 % від світового обсягу паперової продукції.
  2. Близько 25 % всього сміття на планеті становлять відходи паперової продукції і промисловості.
  3. Якщо б тільки США зменшили використання паперу на 10 %, то це скоротило б викиди парникових газів, щонайменше, на 1,6 млн. тонн в рік.
  4. Паперова промисловість разом з пластмасовою є найбільш екологічно небезпечною з виділенням токсичних парникових газів, які збільшують темпи глобального потепління.
  5. Вторинна переробка 1 тонни паперу могла б заощадити 26 тонн води, 3 м<sup>2</sup> плодючої землі та 4 МВт електроенергії.
  6. Для повторної переробки макулатури потрібно майже у 2 рази менше електроенергії, ніж для первинного виробництва паперу. При цьому викиди шкідливих речовин зменшуються на 70 %.
  7. Кожен рік середньостатистична родина викидає у сміття кількість паперу, для виготовлення якого вирубали 16 дерев.
  8. За останні 20 років попит на папір збільшився з 92 до 350 млн. тонн на рік, тобто більше ніж у 3,5 рази.
  9. В Україні з макулатури повторно виготовляється в околі 1 % паперу, у той час, як у Європі – 50 %, а у Японії – близько 65 %.
  10. У деревини в целюлозних волокнах та лігніновій структурі знаходиться понад 30 % карбону.
- Ці та інші аргументи свідчать про те, що у 21 столітті потрібно беззаперечно переходити на деревоощадливі технології виробництва паперу та відповідних будівельних матеріалів.

### **Розробка деревоощадливих технологій декарбонізації синтетичного (кам'яного) паперу та будівельних матеріалів**

Розроблена удосконалена технологія є різновидом деревоощадливого екологічно чистого методу виготовлення синтетичного паперу та відповідних будівельних матеріалів з неорганічних природних речовин та органічних відходів, яка може бути використана у паперовій, будівельній, природоохоронній галузях та хімічній промисловості.

Традиційна технологія виготовлення паперу, як відомо, базується на серії фізико-хімічних процесів обробки целюлози із деревної сировини, споживає значну кількість природних ресурсів, води, вугілля, газу, електроенергії та інших витрат. До того ж, суттєво забруднює навколишнє середовище своїми токсичними викидами, а зменшення лісових ресурсів призводить до глобальних змін клімату на Землі. Разом з тим, запасів вапняків, каоліну та поліолефінових і інших пластикових відходів є багато.

Відомі способи виготовлення синтетичного екологічно чистого (кам'яного) паперу для захисту навколишнього середовища, зокрема: CN102226021B, CN1381521A, CN104861275B, CN102219950A, CN1651649, CN103833263A, CN101851365A, CN102226022A, CN106554161B,

CN1378909A, CN1378909 A, CN101864691A та інші.[3]

Загальним недоліком цих способів є значна кількість інгредієнтів, зокрема, окремо пластифікаторів, попри те, що розплавлені (розм'ячені) поліолефіни самі по собі, крім зв'язувальних властивостей, і є пластифікаторами. Крім того, в ролі цих пластифікаторів часто виступає картопляний, пшеничний або кукурудзяний крохмаль, який, як продукт харчування, у значних обсягах не доцільно використовувати у виробництві паперу. Крім того, зазначені технології базуються на підготовці і одночасному змішуванні суміші з голчато-волоконистого вапняку, термопластичного матеріалу, яким є крохмаль, поліолефінових смол і допоміжних компонентів, які містять поверхнево-активні речовини та мастила. Недоліком є значна вартість та складність технологічного процесу за рахунок необхідності додаткової модифікації карбонату кальцію з формуванням голчастих волокон заданої товщини і довжини, необхідності використання та додаткової термопластифікації крохмалю, який є харчовою сировиною і в великих обсягах його застосування для виробництва паперу екологічно та економічно недоцільне, а також за рахунок застосування складних пластифікуючих, інгібуючих, зв'язувальних та поверхнево-активних речовин.

Найбільш близькою до удосконаленої є технологія виготовлення маси для синтетичного паперу, описана в патенті України, № 152521, МКП (2006): Д21Н, 27/00, Д21Н 13/26, опубл. 01.03.2023, бюл. № 9/2023.[3].

В основу удосконаленої інноваційної технології поставлено задачу суттєвого спрощення та підвищення якості кінцевого продукту і ефективності технологічного процесу приготування маси для синтетичного паперу та відповідних будівельних матеріалів за рахунок використання доступних природних мінеральних ресурсів не рослинного походження, а саме: вапняків та каолінів, а також поліолефінових відходів (зокрема, ПЕТ-пляшки, ПТФЕ-полімерів тощо), та відповідних допоміжних інгредієнтів.

Поставлена задача досягається тим, що в екологічно чистому способі виготовлення маси для синтетичного паперу, який включає змішування вапнякової суміші з допоміжними компонентами, її нагрівання при постійному перемішуванні до температури 160-190°C. Далі перед змішуванням до тонкомеленої вапнякової суміші додають збагачений каолін, після чого при постійному перемішуванні до тонкомеленої вапняково-каолінової суміші послідовно з інтервальним режимом додають допоміжні компоненти, спочатку – поверхнево - активні речовини, в якості яких використовують касторову олію або поліфосфат, після чого ретельно перемішують і в отриману суміш вводять мастило, у якості якого використовують віск, мінеральне масло або білу оливу, а далі додають поліолефіновий компонент, в якості якого використовують подрібнені відходи поліетилену чи поліпропілену, або їх суміш з подальшим екструдуванням та каландруванням маси. Удосконалена технологія передбачає використання, крім поліетилену та поліпропілену, також і інших пластифікаторів, а саме: полістирольних, арамідних, полівінілхлоридних, тетрафторетиленових відходів тощо.

**Технологічний процес** реалізується таким чином.

Перед тим, як додати у змішувач типу BENBERI суміш для виготовлення синтетичного паперу, здійснюють її підготовку. При цьому в основі суміші є очищений природний мінерал вапняк, який складається переважно з карбонату кальцію. Також інгредієнтом цієї базової суміші є природний мінерал, але збагачений каолін, який попередньо очищається від кварцитів. Рівень вологості вапняку і каоліну забезпечується не вище 1%. Зневоднення (осування) суміші здійснюється її нагріванням, наприклад, у піщаній бані до температури 100-120° С. Осушену суміш вапняку (в околі 70 мас. %) та каоліну (близько 10 мас. %) подають до млина і доводять рівень дисперсності не більше 0,5-1 мкм. Далі від млина тонкомелена суміш потрапляє до змішувача, наприклад BENBERI.

Наступною операцією є додавання до тонкомеленої суміші поверхнево-активної речовини в околі 1-3 мас. %. Нею може бути касторова олія або поліфосфати. Як змішувач, можна використати або спіральний стрічковий, або роторний барабанний, або пневматичний високошвидкісний міксер зі швидкістю 300-900 об/хв. для повного перемішування та покращення поверхневої активності базової суміші. Далі у змішувач додають мастило 1-3 мас. %, яким може слугувати розплавлений віск, мінеральне масло або біла олива. Час високошвидкісного перемішування становить до 20 хв. при температурі 100-160° С і тиску 10-30 МПа.

Після такої попередньої підготовки базової суміші додаються у змішувач тонко подрібнені поліетиленові чи поліпропіленові (або їх суміш), чи інші пластикові відходи у кількості 15-20 мас. %. Доводять температуру інгредієнтів (компонентів) до  $T = 160-190^{\circ} \text{C}$ , ретельно і безперервно перемішують до стану, коли подрібнені відходи переплавляються і отримується рівномірна в'язка біла маса. Отримана маса за умов безперервного змішування подається у шнековий екструдер і далі

у каландр з Т-подібною прес-формою. При цьому екструзійне обладнання двошнекове зі швидкістю обертання подавальної машини в околі 8-30 об/хв. Температура екструзії – 90-130° С. Далі від Т-подібного каландра маса направляється у чотиривалковий блок на подальше каландрування при температурі 160-180 ° С, та розтягування в'язкої маси через вальці, здійснюючи спочатку повздовжнє, а потім поперечне розтягування для отримання синтетичного паперу з двонаправленою міцністю та необхідною товщиною до 0,1мм.

Наступним етапом підготовленої плоскої маси є її охолодження до Т=5-30 ° С, сушка за допомогою фену та формування необхідного листового матеріалу на різальній машині (верстата) і подальшого пакування. За необхідності отримання бажаної споживчої якості кінцевого продукту – синтетичного паперу до маси додають природні антиоксиданти, барвник, пластифікатори тощо.

Лабораторна реалізація запропонованої деревоощадливої технології отримання синтетичного паперу здійснювалась з допомогою піщаної бані з мішалкою, термометром та дозатором, рис.1.



Рисунок 1 – Лабораторна реалізація деревоощадливої технології отримання синтетичного паперу

Отже, на відміну від прототипів, у пропонованій технології замість термопластифікованого крохмалю застосовується природній каолін (до 10 мас %), який у сукупності з ПАР, пластифікаторами та мастилами, зазначеними вище, надають масі для синтетичного паперу необхідної пластичності, рівномірності, щільності, міцності та площинності з можливістю ефективного формування виробу (плоских листів синтетичного паперу або відповідних будівельних матеріалів), табл.1.

Таблиця 1

**Фізико-механічні показники зразків синтетичного паперу, отриманого за удосконаленою деревоощадливою технологією**

Показники	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Метод тестування
Маса паперу, г/м <sup>2</sup>	112	135	156	ISO 536
Щільність паперової маси, г/см <sup>3</sup>	0,28	0,65	0,71	ISO 534
Руйнівне зусилля, Н	15,6	36,1	39,2	ISO 1924-1

Таким чином, екологічно чистий спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу, який включає одночасне змішування вапнякової суміші з термопластичними матеріалом та допоміжними компонентами, її нагрівання при постійному перемішуванні до температури 160-190° С, екструзії та каландрування, відрізняється тим, що перед змішуванням до тонкомеленої вапнякової суміші додають тонкомелений збагачений каолін, після чого при постійному перемішуванні до тонкомеленої вапняково-каолінової суміші послідовно з інтервальним режимом додають допоміжні компоненти, спочатку поверхнево-активні речовини, в якості яких використовують касторову олію або поліфосфат, далі в отриману суміш вводять мастило, у якості якого використовують віск,

мінеральне масло або білу оливу, а потім поліолефіновий компонент, в якості якого використовують подрібнені частинки поліетилену, або поліпропілену, або їх суміш, або інші пластифікуючі відходи. [4].

### Висновки

Отже, виробничий процес виготовлення синтетичного (кам'яного) паперу не вимагає витрат деревини, води і крохмалю, застосування хлорного вапна для відбілювання, кислот та нафтових компонентів, які роблять відходи целюлозно-паперової промисловості екологічно небезпечними та отруйними. Синтетичний папір не потребує спеціальної утилізації чи спалювання, може бути біорозкладним і перетворюватися у добрива та може повторно надалі використовуватися для виробництва продуктів із пластику, а також для будівельних ізоляційних та покривних матеріалів. Головне, він є екологічно виваженим, бо не потребує волокон целюлози, як рослинного полімеру, заощаджуючи таким чином лісові ресурси планети.

Крім того, розроблена інноваційна технологія відповідає сучасній національній політиці розвитку низьковуглецевої промисловості та концепції декарбонізації економіки і має широкі ринкові перспективи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2101-92. Папір. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1992. 91 с.
2. ДСТУ 2098-92. Виробництво паперу та картону. Терміни та визначення.
3. Петрук В. Г., Петрук Г. Д., Гура К. Ю. Екологічно чистий спосіб приготування маси для синтетичного паперу. Пат. № 152521, МКП (2006): D21H, 27/00, D21H 13/26, Номер заявки: U202200774, опубл. 01.03.2023, бюл. № 9/2023.
4. Демишин Т. І., Антоненко Л. П. Розробка синтетичного електроізоляційного матеріалу і обладнання харчових та хімічних виробництв. Технологічний аудит і резерви виробництва. Київ, 2014. № 6/5 (20). С. 20-21.
5. Stone Paper carbonate with a plastic resin as a binder. It is found on the global market, available/ February, 2020.

### REFERENCES

1. DSTU 2101-92. Papir. Terminy ta vyznachennia. K.: Derzhstandart Ukrainy, 1992. 91 s.
2. DSTU 2098-92. Vyrobnnytstvo papiru ta kartonu. Terminy ta vyznachennia.
3. Petruk V. H., Petruk H. D., Hura K. Yu. Ekolohichno chystyi sposib pryhotuvannia masy dlia syntetychnoho papir. Pat. № 152521, MKP (2006): D21H, 27/00, D21H 13/26, Nomer zayavky: U202200774, opubl. 01.03.2023, biul. № 9/2023.
4. Demyshyn T. I., Antonenko L. P. Rozrobka syntetychnoho elektroizoliatsiinoho materialu i obladnannia kharchovykh ta khimichnykh vyrobnytstv. Tekhnolohichniy audit i rezerve vyrobnytstva. Kyiv, 2014. № 6/5 (20). S. 20-21.
5. Stone Paper carbonate with a plastic resin as a binder. It is found on the global market, available/ February, 2020.

**Петрук Василь Григорович** – д-р.техн.наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: [petrukv@gmail.com](mailto:petrukv@gmail.com);

**Іщенко Віталій Анатолійович** – канд.техн.наук, доцент, завідувач кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: [ischenko.v.a@vntu.edu.ua](mailto:ischenko.v.a@vntu.edu.ua);

**Петрук Роман Васильович** – д-р.техн.наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: [prroma07@gmail.com](mailto:prroma07@gmail.com);

**Кватернюк Сергій Михайлович** – д-р.техн.наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: [kvaternuk@vntu.edu.ua](mailto:kvaternuk@vntu.edu.ua);

**Васильківський Ігор Володимирович** - канд.техн.наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: [igor.vntu@gmail.com](mailto:igor.vntu@gmail.com)

**V. Petruk  
V. Ishchenko  
R. Petruk  
S. Kvaterniuk  
I. Vasylykivskyi**

## WOOD-SAVING TECHNOLOGY OF DECARBONIZATION OF SYNTHETIC PAPER AND CONSTRUCTION MATERIALS

Vinnitsia National Technical University

*Paper, like the invention of the wheel, is one of the greatest achievements of mankind. At the same time, the volumes of paper production are constantly increasing, while wood reserves decrease. Accordingly, the nature is significantly damaged, and if a mankind does not stop in its insatiable desire to reduce green spaces, Earth atmosphere will soon become unsuitable for the existence of almost all types of life. Therefore, it is necessary to save forest resources in order to provide the ecological*

*balance on the planet. In addition to wood, a lot of water and electricity are needed for paper production using traditional "wood" technologies. For instance, until recently, up to 1000 tons of water was used in the technological process to produce 1 ton of paper. Besides, after the manufacturing process, the contaminated wastewater is discharged in water bodies and other environments. Fire and high flammability of paper are also a significant danger. At the same time, 20% of the world's wood harvest is used for paper production, which causes reasonable opposition from environmentalists. Therefore, taking into account the decarbonization of Ukraine's and the world's economy, it is important to refuse traditional wood technologies and look for alternative wood-saving methods and methods of paper products production and relevant construction materials manufacture using a paper.*

**Key words:** *decarbonization, synthetic paper, cellulose, wood-saving technology, construction materials, environmental safety, environmental protection technologies.*

**Petruk Vasyl** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the department of ecology, chemistry and environmental protection technologies, e-mail: petrukvg@gmail.com;

**Ishchenko Vitalii** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of ecology, chemistry and environmental protection technologies, e-mail: ischenko.v.a@vntu.edu.ua;

**Petruk Roman** – Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department of ecology, chemistry and technologies for environmental protection, e-mail: prroma07@gmail.com;

**Kvaterniuk Serhii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department of ecology, chemistry and environmental protection technologies, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua;

**Vasylykivskiy Igor** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate professor of the department of ecology, chemistry and environmental protection technologies. e-mail: igor.vntu@gmail.com.