

С. М. Кватернюк<sup>1</sup>  
А. В. Василич<sup>1</sup>  
В. Г. Петрук<sup>1</sup>  
Г. Д. Петрук<sup>1</sup>  
С. В. Мандебура<sup>1,2</sup>  
Д. Р. Латуша<sup>1</sup>

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3D ECO RECYCLING ДЛЯ СТВОРЕННЯ ШТУЧНИХ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup> Уманський державний педагогічний університету ім. Павла Тичини

### **Анотація**

*Технологія 3D Eco Recycling – це виготовлення будівельних конструкцій на основі переробки пластикових відходів з використанням в 3D друку. Запатентована нова технологія дозволяє підвищити ефективність переробки пластикових відходів і забезпечує створення будівельних матеріалів з необхідними характеристиками. Отримані будівельні конструкції планується використовувати для побудови штучних водно-болотних угідь, що являють собою складні конструкції для очищення дренажних вод за допомогою плаваючих вищих водних рослин.*

**Ключові слова:** ефективність очищення вод, штучні водно-болотні угіддя, будівельні конструкції, пластикові відходи.

### **Abstract**

*3D Eco Recycling technology is the production of building structures based on the processing of plastic waste using 3D printing. The patented new technology makes it possible to increase the efficiency of processing plastic waste and ensures the creation of building materials with the necessary characteristics. The resulting construction structures are planned to be used for the construction of artificial wetlands, which are complex structures for cleaning drainage water with the help of floating higher aquatic plants.*

**Keywords:** water purification efficiency, constructed wetlands, building structures, plastic waste.

### **Вступ**

Технологія 3D Eco Recycling – це виготовлення будівельних конструкцій на основі переробки пластикових відходів. Вона базується на ідеї виготовлення будівельних матеріалів з некондиційних пластикових відходів. Отриманий матеріал може використовуватись в 3D друці будівельних конструкцій, зокрема, штучних водно-болотних угідь. Запатентована нова технологія дозволяє підвищити ефективність переробки пластикових відходів і забезпечує створення будівельних матеріалів з необхідними характеристиками. Прогнозується, що світовий ринок 3D друку будівельних конструкцій має зрости з 3 млрд.дол. до 500 млрд. дол. у наступні 10 років. За рахунок нової технології забезпечується більша енергоефективність та зменшення викидів CO<sub>2</sub>.

Проблема забруднення водних об'єктів шляхом надходження неочищених сільськогосподарських дренажних вод є особливо актуальною для України. Це спричиняє евтрофікацію водних об'єктів та зростання загроз для забезпечення населення якісною питною водою. У роботі [1] проведено огляд сучасних підходів, щодо використання штучних водно-болотних угідь для очищення стічних вод та показано можливість вирішення проблеми з використання комплексу, що включає вищі водні рослини та відповідні мікроорганізми. Також удосконалено метод підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії з використання штучних водно-болотних угідь та плаваючих вищих водних рослин [1].

Метою роботи є вдосконалення технології виготовлення будівельних конструкцій на основі переробки пластикових відходів, яку доцільно використати для побудови штучних водно-болотних угідь для очищення дренажних вод за допомогою плаваючих вищих водних рослин.

## Результати дослідження

Запропонована технологія [2] є різновидом деревоощадливого екологічно чистого способу виготовлення синтетичного матеріалу з неорганічних природних речовин та органічних відходів і може бути використана у паперовій, будівельній, хімічній промисловості та природоохоронній галузі. Традиційна технологія виготовлення паперу 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. При цьому попит на паперову продукцію збільшується, а в результаті – запасів лісових ресурсів стає усе менше, і це призводить до глобальних змін клімату на Землі. Разом з тим, запасів вапняків, каоліну та поліолефінових відходів є багато.

Відомі способи виготовлення синтетичного екологічно чистого (кам'яного) паперу для захисту навколишнього середовища. 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.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу, описаний у [3]. Зазначений спосіб оснований на підготовці і одночасному змішуванні суміші з голчасто-волоконистого вапняку, термопластичного матеріалу, яким є крохмаль, поліолефінових смол і допоміжних компонентів, які містять поверхнево-активні речовини та мастила. Отриману суміш нагрівають при постійному перемішуванні до температури 160-1900. і тиску 10 ~ 30 МПа протягом 20 хвилин. В результаті, отримується в'язка біла маса, яка подається на шнековий екструдер, потім на Т-подібний каландр з поперечним та поздовжнім розтягуванням і далі після охолодження до T=5-300C маса готова для виготовлення сировини відповідного сорту плоского синтетичного паперу.

Недоліком прототипу 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.

В основу корисної моделі поставлено задачу суттєвого спрощення та підвищення якості кінцевого продукту і ефективності технологічного процесу приготування маси для синтетичного паперу за рахунок використання доступних природних мінеральних матеріалів 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 матеріалу, який включає змішування вапнякової суміші з допоміжними компонентами, її нагрівання при постійному перемішуванні до температури 160-190° С, згідно корисної моделі 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 вводять поліолефіновий компонент, в якості якого використовують подрібнені відходи поліетилену чи поліпропілену, або їх суміш з подальшим екструдуванням та каландруванням маси.

Спосіб здійснюється 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 (осушення) суміші здійснюється її нагріванням, наприклад, у піщаній бані до температури 100-120° С. Осушену суміш вапняку (70 мас. %) та каоліну (10 мас. %) подають до млина і доводять рівень дисперсності не більше 0,5-1 мкм. Далі від млина тонкомелена суміш потрапляє до змішувача 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) 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  $T$ -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  $T$ -подібного каландра маса направляється у чотиривалковий блок на подальше каландрування при температурі 160-180° С, та розтягування в'язкої маси через вальці, здійснюючи спочатку поздовжнє, 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  $T=5-30^{\circ} \text{C}$ , сушка за допомогою фену та формування необхідного листового матеріалу з допомогою різальної машини (верстата) і подальшого пакування.

За необхідності отримання бажаної споживчої якості кінцевого продукту – синтетичного паперу до маси додають природні антиоксиданти, барвник, пластифікатори тощо.

На відміну від прототипу у запропонованій корисній моделі замість термопластифікованого крохмалю застосовується природній каолін (до 10 мас %), який у сукупності з ПАР та мастилами, зазначеними вище, надають масі для синтетичного паперу необхідної пластичності, рівномірності та площинності з можливістю ефективного формування виробу (плоских листів синтетичного паперу). Запропонований спосіб відповідає сучасній національній політиці розвитку низьковуглецевої промисловості (концепції декарбонізації економіки) і має широкі ринкові перспективи.

## Висновки

Запропонована технологія дозволяє забезпечити 3D друк штучних водно-болотних угідь, що являють собою складні конструкції для очищення дренажних вод за допомогою плаваючих вищих водних рослин. При цьому стічна вода очищується в аеробних умовах мікроорганізмами на кореневій системі вищих водних рослин. Контроль параметрів штучного водно-болотного угіддя здійснюється за допомогою мультиспектральних камер та визначення біофізичних параметрів вищих водних рослин з використанням регресійних рівнянь [4]. В подальшому контролю очисних споруд на основі штучних водно-болотних угідь здійснюється з використанням технології Інтернету речей (IoT). Досвід експлуатації штучних водно-болотних угідь для очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії показує, що такі комплекси знаходяться на значній відстані один від одного, а тому, використовуючи технологію Інтернету речей з'являється можливість контролювати велику кількість таких очисних споруд розміщених у різних частинах країни.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кватернюк С. М., Мандебура С. В., Латуша Д. Р. Підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод з використання штучних водно-болотних угідь. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. № 1(34). С. 183–189. doi: 10.31649/2311-1429-2023-1-183-189.
2. Петрук В.Г., Петрук Г.Д. Гура К.Ю. Екологічно чистий спосіб приготування маси для синтетичного паперу: пат. 152521 Україна. № u202200774; заявл. 21.02.2022; опубл. 02.03.2023, Бюл. № 9.
3. Екологічно чистий папір і спосіб його приготування: пат. CN101864691A Китай. заявл. 21.02.2022; опубл. 2020-10-20.

4. Кватернюк С. М., Петрук В.Г., Кватернюк О.Є., Іщенко В.А., Цимбалюк Л.О. Спосіб очищення стічних вод від нафтопродуктів та контролю параметрів забруднення: пат. 147235 Україна. № u202007794; заявл. 07.12.2020; опубл. 22.04.2021, Бюл. № 16. 5 с.

**Кватернюк Сергій Михайлович** — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

**Василинич Анастасія Володимирівна** — студент групи Б-21б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vasilinichnastya@gmail.com.

**Петрук Василь Григорович** — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: petrukvg@gmail.com.

**Петрук Галина Дмитрівна** — к.т.н., доцент, доцент кафедри хімії та методики навчання хімії, Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, Вінниця, e-mail: Halyna.Petruk@vspu.edu.ua.

**Мандебура Святослав Васильович** — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, викладач кафедри хімії, екології та методики їх навчання Уманського державного педагогічного університету ім. Павла Тичини, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

**Латуша Дмитро Русланович** — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

**Кватернюк Сергій М.** — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

**Vasylynch Anastasiia V.** — student of B-21b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : vasilinichnastya@gmail.com.

**Petruk Vasyl G.** — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: petrukvg@gmail.com.

**Petruk Halyna D.** — Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Chemistry and Chemistry Teaching Methods, Vinnytsia State Pedagogical University named after M. Kotsyubinsky, Vinnytsia, e-mail: Halyna.Petruk@vspu.edu.ua.

**Mandebura Sviatoslav V.** — Post-Graduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies of Vinnytsia National Technical University, Teacher of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of their teaching of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

**Latusha Dmytro R.** — Post-Graduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: dima.latusha27@gmail.com..