

ГАЛИШ Віта

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: [0000-0001-7063-885X](https://orcid.org/0000-0001-7063-885X)
e-mail: v.galysh@gmail.com

РАДОВЕНЧИК Ярослав

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: [0000-0002-0101-0273](https://orcid.org/0000-0002-0101-0273)
e-mail: r.yar@ukr.net

ГОМЕЛЯ Микола

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: [0000-0003-1165-7545](https://orcid.org/0000-0003-1165-7545)
e-mail: m.gomelya@kpi.ua

РАДОВЕНЧИК Вячеслав

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: [0000-0001-5361-5808](https://orcid.org/0000-0001-5361-5808)
e-mail: dokeco@ukr.net

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ПІДСІТКОВИХ ВОД ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В роботі наведено результати досліджень процесів освітлення підсіткових вод технологічного процесу виробництва картону тарного з макулатури. Встановлено закономірності впливу компонентів макулатурної маси на ефективність їх видалення з оборотних вод за використання неорганічних коагулянтів різних типів. Показано, що залишкова каламутність оборотних вод пов'язана з вмістом в них мінеральних наповнювачів.

Ключові слова: первинне волокно, вторинне волокно, картон, показники міцності, підсіткові води, коагулянти.

HALYSH Vita, RADOVENCHYK Iaroslav, GOMEYA Mykola, RADOVENCHYK Vyacheslav
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

STUDY OF THE PROCESSES OF WASTEWATER TREATMENT FOR REUSE IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Nowadays, more than 80% of cardboard and paper products of Ukrainian mills are made from waste paper - secondary fibers that differ in their chemical and physical properties from primary cellulosic fibers. Characteristic feature of secondary fibers is the presence of a large number of small fibers, which negatively affects the quality of finished products, mass retention on the grid during the formation of paper or cardboard, which leads to pollution of wastewaters. Despite its environmental friendliness and economy, waste paper is also characterized by the presence of various pollutants, the formation of which is associated with the process of paper formation, storage of finished products, and their use. As a result of the preparation of the mass from secondary fibers, there is a transition of pollutants from the waste paper to the wastewater in the form of colloidal dispersed and soluble substances, which lead to the pollution of circulating water. Purification of water and its reuse in technological processes is an important task of paper industry mills. The results show that more than 90% of the secondary fibers have a length that does not exceed 1 mm, while in the primary cellulose fiber from coniferous wood about 53% of the fibers have a length of more than 1 mm. The high content of short fibers in the paper mass affects the processes of paper formation, worsening them, and a decrease in the retention of the fiber on the grid of the paper or cardboard machine is observed, causing the pollution of wastewater. The results of the study of coagulation of industrial wastewater with the content of suspended solids 1520 and 3200 mg/dm³ from the production of cardboard from recycling paper show that the best coagulants are Al(OH)Cl₂ and Al₂(OH)₅Cl. The maximum efficiency of water purification of only 92.5% was achieved at the suspended solids content of 1520 mg/dm³, while for wastewater with a suspended solids concentration of 3200 mg/dm³ 98.0% was obtained. To develop a scheme for deep purification of wastewaters, it is important to understand which components are removed from water more easily and which are more difficult during coagulation. For this purpose, studies on coagulation of model suspensions of starches, bentonite and kaolin using inorganic coagulants were conducted. It was established that coagulation of native corn starch suspension with inorganic coagulants is effective. However, in the case of using modified starches, the removal of cationic starches is reduced. The efficiency of water purification in the removal of bentonite by sedimentation-filtration with the use of coagulants is quite high. The degree of purification reaches 80.8-98.1%. The filtering stage allows the degree of purification to be further increased. Research on the processes of purification of model kaolin suspensions shows that mechanical and physico-chemical methods are ineffective in removing this mineral filler.

Keywords: primary fiber, secondary fiber, cardboard, strength indicators, wastewater, coagulants.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день підприємства целюлозно-паперової промисловості використовують різні волокнисті напівфабрикати, такі як хіміко-термомеханічна маса, механічна маса, напівцелюлоза, целюлоза [1]. Ці напівфабрикати представляють собою первинні целюлозні волокна з різним вмістом лігніну [2]. Проте картонно-паперова продукція вітчизняних підприємств більш як на 80% виробляється з макулатури – вторинних волокон, які відрізняються за своїми хімічними та фізичними властивостями від первинних целюлозних волокон [3]. Характерним для вторинних волокон є наявність великої кількості дрібних волокон що негативно впливає на якість готової продукції, значно знижує ефективність утримання маси на сітці при формуванні паперу чи картону, що призводить до забруднення підсіткових вод [4].

Незважаючи на екологічність та економічність використання макулатури як вихідної сировини,

вона характеризується присутністю різних забруднюючих речовин, утворення яких пов'язане з процесом формування паперу, зберіганням готової продукції та її використанням. В результаті підготовки маси з вторинних волокон відбувається перехід забруднюючих речовин з макулатури до підсіткових вод у вигляді колоїдно-дисперсних та розчинних речовин, які призводять до забруднення оборотних вод [5]. Очищення води та її повторне використання в технологічних процесах є важливим завданням підприємств паперової галузі.

Аналіз досліджень та публікацій

Важливими факторами, що стимулюють розробку та впровадження водоочисних та водозберігаючих технологій є висока вартість свіжої води, суворі екологічні норми та значні витрати на скид стічних вод. Впровадження ефективних схем водоочистки дозволяє зменшити споживання свіжої води в технологічних процесах шляхом використання очищених оборотних, значно зменшити негативне навантаження на навколишнє середовище, а також повторно використовувати дороговартісну волокнисту сировину у вигляді скопу в композиції паперу та картону. Це значно сприяє екологізації виробництва та реалізації концепцій ресурсозбереження [6-8].

Підсіткові води, що утворюються при зневодненні паперового чи картонного полотна на сітці паперо- або картоноробної машини, використовуються в гідророзбивачах для розпуску сухої волокнистої сировини та сухого браку. Термін «освітлена вода» застосовується до підсіткових вод після локальної очистки. Освітлена вода використовується для розбавлення паперової маси перед очищенням та сортуванням. Для локальної очистки використовують процеси відстоювання, фільтрації, флотації, в результаті чого відбувається видалення целюлозних волокон та наповнювачів з води, що призводить до полегшення її очищення на етапах загальнозаводського очищення [9]. Термін «оборотна вода» застосовується до підсіткових та прояснених вод.

Переваги та недоліки технологій, які на сьогоднішній день використовуються для очищення підсіткових вод, наведено в таблиці 1 [10]. Зазвичай очистку виконують шляхом використання одного з методів або поєднанням кількох для видалення з води розчинених неорганічних та органічних речовин та забруднюючих речовин у колоїдно-дисперсному стані.

Таблиця 1

Переваги та недоліки локальних методів очистки

Технологія	Переваги	Недоліки
Хімічна коагуляція	Ефективна у видаленні з води твердих речовин і деяких барвників/органічних сполук	Використання додаткових хімічних речовин, утворення шламу
Флотація	Ефективна у видаленні гідрофобних речовин (фарб) і колоїдних речовин	Використання додаткових хімічних речовин, утворення шламу
Біологічна обробка	Ефективна у видаленні речовин, що викликають біологічне споживання кисню, деяких органічних сполук	Мало ефективна для видалення мінеральних компонентів
Окислення	Сприяє видаленню органічних речовин і барвників	Утворення побічних продуктів окислення, висока вартість хімічних реагентів
Баромембранні технології	Проста організації та використання, ефективна у видаленні мікроорганізмів і твердих речовин	Необхідна попередня обробка води, низька питома пропускна здатність, висока вартість процесу очищення та обладнання

Коагуляція вважається одним з найбільш оптимальних та ефективних методів очистки стічних вод різних виробництв за умови правильної витрати реагентів, оскільки дозволяє видалити змулені речовини, зменшувати кольоровість, хімічне та біологічне споживання кисню [11, 12]. Найпоширенішими коагулянтами є солі алюмінію, заліза та поліелектроліти [13]. Коагулянти на основі алюмінію також сприяють видаленню амінокислот, білків та довголанцюгових жирних кислот [14, 15].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження впливу коагулянтів на вилучення з підсіткових вод компонентів макулатурної маси.

Виклад основного матеріалу

За фракційним складом вторинна паперова сировина є досить неоднорідною через високий вміст коротких волокон та різних домішок, наприклад, проклеюючих речовин та наповнювачів. Для вивчення фракційного складу макулатурної маси використовували апарат FS-100 фірми "Каяні". В досліді використовували волокнисту масу, до складу якої входила макулатура марок МС-3А, МС-4А, МС-6Б, МС-7Б, МС-8Б, МС-9Б (в однаковому співвідношенні) [16]. Результати, наведені в таблиці 2, свідчать про те, що

більше 90% волокон мають довжину, яка не перевищує 1 мм, в той час як близько 53% волокон з первинного целюлозного волокна хвойних порід деревини мають довжину більше 1 мм [17]. Високий вміст коротких волокон в паперовій масі значно погіршує процеси формування полотна, оскільки відбувається зниження ефективності утримання волокна на сітці паперо- чи картоноробної машини, що, в свою чергу, збільшує забруднення стічних вод.

Таблиця 2

Фракційний склад макулатурної маси

Фракція, мм	0,20 – 0,60	0,61 – 1,20	1,20 – 2,00	2,00 – 3,00	3,00 – 7,00
Вміст, %	65,3	25,4	7,7	1,5	0,1

Ефективність використання коагулянтів при очищенні води в значній мірі залежить від типу хімічних допоміжних речовин, їх дози, конкретної партії стічної води [18, 19]. Для досліджень використовували партію оборотних вод ПрАТ “Київський картоно-паперовий комбінат” від виробництва макулатурного картону. Як вивчення впливу витрат коагулянтів на ефективність освітлення оборотної води з вмістом змулених речовин 1520 та 3200 мг/дм³ представлено на рисунку 1.

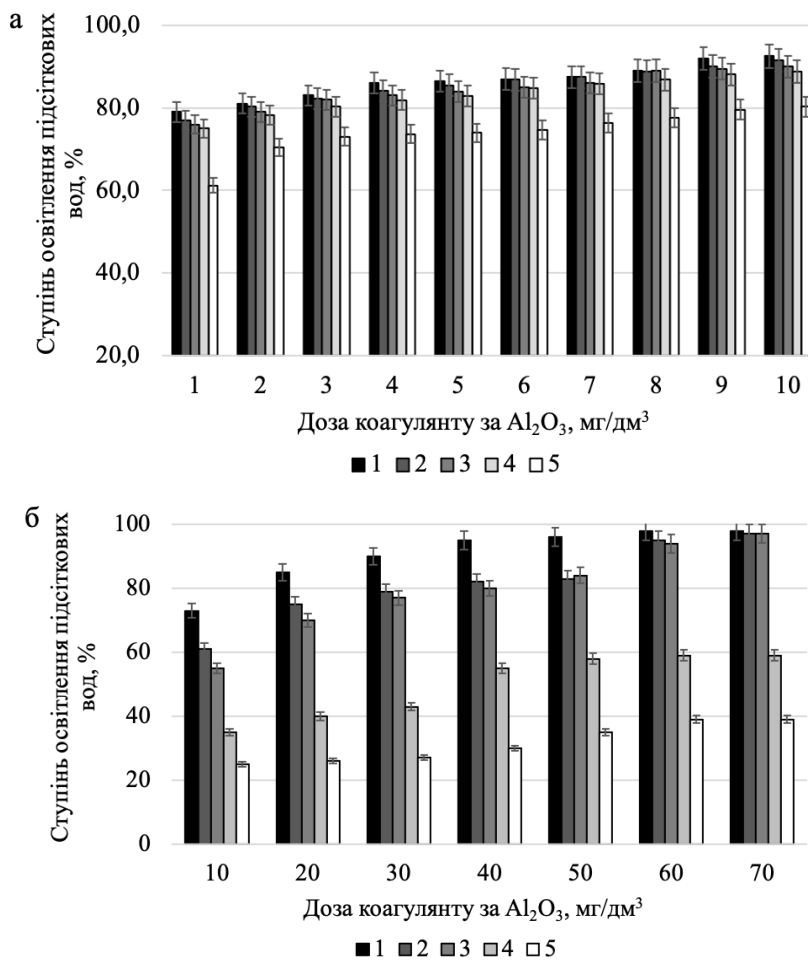


Рис. 1. Вплив дози коагулянта на ступінь освітлення вод з початковим вмістом змулених речовин: а – 1520 мг/дм³; б - 3200 мг/дм³; 1 – Al(OH)Cl₂; 2 – Al₂(OH)₅Cl; 3 – Al(OH)₂Cl; 4 – Al₂(SO₄)₃; 5 – NaAl(OH)₄

Результати дослідження показують, що найкращими коагулянтами в даному випадку є Al(OH)Cl₂ та Al₂(OH)₅Cl. Очевидним є те, що чим більше концентрація змулених речовин в оборотній воді, тим більшу ефективність проявляє коагулянт. При освітленні води з вмістом змулених речовин 1520 мг/дм³ максимальна ефективність очищення води складала лише 92,5%, в той час як для оборотних вод з концентрацією змулених речовин 3200 мг/дм³ вона складала 98,0%. Однак, навіть при цьому, концентрації змулених речовин в освітлених оборотних водах складають 114 та 64 мг/дм³, відповідно, що є досить високим показником. Такий залишковий вміст змулених речовин суттєво обмежує повторне використання освітленої води в технологічних процесах для заміни свіжої.

Для розробки схеми глибокого освітлення підсіткових вод важливо розуміти, які компоненти коагулюванням видаляються з води легше, а які важче. Для цього нами були проведені дослідження процесів коагулювання модельних суспензій крохмалів, бентоніту та каоліну з використанням неорганічних коагулянтів. Вибір модельних компонентів є не випадковим. Вони входять до складу макулатурної маси для надання необхідних показників міцності готовій продукції. Результати вивчення впливу дози неорганічного

коагулянту на ефективність освітлення модельних суспензій крохмалів, а саме нативного кукурудзяного та Церезану (рН=6,7) представлені в таблиці 3. Встановлено, що освітлення суспензії нативного кукурудзяного крохмалю неорганічними коагулянтами відбувається досить ефективно. Проте, у випадку використання модифікованих крохмалів відбувається зниження ефективності видалення катіонних крохмалів.

Таблиця 3

Вплив витрат неорганічних коагулянтів на ступінь освітлення модельних суспензій крохмалів, %

Реагент	Доза, мг/дм ³	Суспензія крохмалю			
		Крохмаль нативний кукурудзяний		Церезан	
		С _{зв'яз. поч.} 111 мг/дм ³	С _{зв'яз. поч.} 270 мг/дм ³	С _{зв'яз. поч.} 120 мг/дм ³	С _{зв'яз. поч.} 308 мг/дм ³
Al ₂ (SO ₄) ₃	2	85,6	90,0	80,0	84,7
	5	92,3	93,9	89,2	91,8
	10	95,8	94,9	95,0	96,5
NaAl(OH) ₄	2	42,8	59,0	40,6	56,6
	5	53,1	66,0	50,0	63,3
	10	57,7	68,5	53,8	68,5
Al(OH)Cl ₂	2	95,1	97,0	80,1	89,3
	5	98,6	98,0	90,8	93,6
	10	99,5	99,0	95,0	97,4
Al(OH) ₂ Cl	2	88,8	92,9	78,8	85,5
	5	92,8	96,3	88,3	92,4
	10	98,9	98,4	92,1	96,4
Al ₂ (OH) ₅ Cl	2	86,0	91,8	79,2	84,4
	5	91,2	94,1	88,7	91,7
	10	95,5	97,0	92,9	96,6

Результати вивчення впливу дози неорганічного коагулянту на ефективність освітлення модельних суспензій мінеральних наповнювачів, а саме бентоніту та каоліну представлені в таблиці 4. Початкові концентрації мінеральних речовин в модельних суспензіях склали 100 мг/дм³. Спочатку суспензії обробляли коагулянтами, інтенсивно перемішували, а потім залишали для відстоювання. Освітлену воду додатково фільтрували. Одержані результати показують, що після відстоювання залишкова каламутність складала 39 мг/дм³, а після подальшого фільтрування зменшується до 8 мг/дм³. За цих умов, ступінь освітлення для кожної зазначеної стадії складає відповідно 61,0% та 79,5%. Загальний ступінь освітлення склав 92,0%.

Ефективність очищення води при видаленні бентоніту шляхом відстоювання-фільтрування з використанням коагулянтів є досить високою. Загальний ступінь освітлення сягає 80,8-98,1%. Стадія фільтрування дозволяє значно підвищити ступінь очищення. Максимальна ефективність очистки води від бентоніту досягнута при застосуванні Al(OH)Cl₂, в результаті використання якого вміст наповнювача у воді було зменшено з 100 мг/дм³ до 0,1 мг/дм³. Таким чином загальний ступінь освітлення склав 99,3%.

Таблиця 4

Вплив витрат неорганічних коагулянтів на ступінь освітлення модельних суспензій мінеральних наповнювачів, %

Реагент	Суспензія бентоніту				Суспензія каоліну			
	Доза, мг/дм ³	Z _{відст.} , %	Z _{фільтр.} , %	Z _{загал.} , %	Доза, мг/дм ³	Z _{відст.} , %	Z _{фільтр.} , %	Z _{загал.} , %
-	-	61,0	79,5	92,0	-	36,0	44,5	64,5
Al ₂ (SO ₄) ₃	2	65,0	84,5	94,0	10	32,0	93,0	95,5
	5	55,0	84,6	94,1	30	22,0	84,4	90,0
	10	49,0	88,5	95,5	70	20,0	72,7	82,5
NaAl(OH) ₄	2	70,5	88,5	95,5	10	30,0	75,8	84,5
	5	74,0	89,5	96,0	30	25,2	55,9	71,8
	10	76,7	97,4	99,0	70	22,9	53,1	70,1
Al(OH)Cl ₂	2	74,0	87,7	95,0	10	32,0	95,2	96,9
	5	80,0	87,4	95,1	30	35,6	94,5	96,5
	10	83,0	98,1	99,3	70	37,7	85,6	89,5
Al(OH) ₂ Cl	2	69,0	76,9	91,0	10	28,9	90,9	94,2
	5	63,0	83,3	93,5	30	33,8	78,9	86,5
	10	67,7	96,2	98,5	70	36,9	75,8	84,5
Al ₂ (OH) ₅ Cl	2	66,0	80,8	92,5	10	45,2	95,0	96,8
	5	75,0	94,4	97,8	30	45,7	87,0	91,7
	10	78,0	97,4	99,0	70	43,7	82,7	88,9

При дослідженні процесів освітлення модельних суспензій каоліну показано, що механічні та фізико-хімічні методи є малоєфективними у видаленні цього мінерального наповнювача. За початкової концентрації каоліну 100 мг/дм³ залишкова концентрація змулених речовин після відстоювання змінюється не суттєво і досягає лише 64 мг/дм³. Подальшим фільтруванням її вдалося знизити до 39,5 мг/дм³, що також не можна вважати задовільним результатом. Ефективність освітлення за стадіями складає 36,0% та 44,5% відповідно. Загальна ефективність видалення каоліну складає лише 64,5%. Невисокою є також ефективність освітлення суспензій каоліну при використанні коагулянтів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Встановлено, що складові компонент макулатурної маси мають різний вплив на ефективність перебігу процесу коагуляції. За використання коагулянтів крохмали досить ефективно видаляються з стічної води навіть при невеликих дозах реагентів (2–10 мг/дм³) і не збільшують каламутність освітленої води незважаючи на їх залишкову концентрацію в підсіткових водах. Ефективність коагулянтів зростає при переході від сульфату алюмінію до гідроксохлоридів алюмінію в усіх випадках. Мінеральні наповнювачі, що використовуються у композиції макулатурної маси при виробництві картонно-паперової продукції, утворюють у воді досить стійкі суспензії, які погано видаляються при використанні коагулянтів, незалежно від типу і дози хімічного реагенту. Ефективне зниження їх концентрації в освітленій воді відбувається при обробці реагентами з подальшим фільтруванням.

Література

1. Sixta H., Potthast A., Krottschek A.W. Chemical Pulping Processes: Handbook of Pulp / Ed. by Herbert Sixta. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2006. – 1291 p.
2. Deykun I. Rapeseed straw as an alternative for pulping and papermaking / I. Deykun, V. Halysh, V. Barbash // Cellulose Chemistry and Technology. – 2018. – Volume 52, No. 9-10. – P. 833–839.
3. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper // L.C. Viana, D.C. Potulski, G.I.B.D. Muniz, A.S.D. Andrade, E.L.D Silva // Cerne. – 2018. – No. 24. – P. 140–148.
4. Fatta-Kassinos D. Wastewater reuse and current challenges / D. Fatta-Kassinos, D. Dionysiou // The Handbook of Environmental Chemistry. – 2016. – No. 44. – P. 1–257.
5. Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polyDADMAC induced flocculation / M.A.A. Razali, Z. Ahmad, M.S.B. Ahmad, A. Ariffin // Chemical Engineering Journal. – 2011. – Volume 166, No. 2. – P. 529–535.
6. Woods to goods: water consumption analysis for papermaking industry in China / Y. Man, Y. Han, Y. Wang, J. Li, L. Chen, Y. Qian, M. Hong // Journal of Cleaner Production. – 2018. – No. 195. – P. 1377–1388.
7. Žarković D.B. Simple and cost-effective measures for the improvement of paper mill effluent treatment – A case study / D.B. Žarković, Ž.N. Todorović, L.V. Rajaković, // Journal of Cleaner Production. – 2011. – No. 19 (6-7). – P. 764–774.
8. Jung H. Water in the paper industry / H. Jung, J. Kappen // Professional Papermaking. – 2014. – No. 2. – P. 11–13.
9. Olanrewaju S. Pulp and paper mill effluent management / S. Olanrewaju, M. Gustavo // Water Environment Research. – 2014. – No. 86. – P. 1535–1544.
10. Hubbe M. Measures to clean up process water / M. Hubbe // Paper Technology. – 2007. – No. 48. – P. 23 – 30.
11. Tetteh E.K. Application of organic coagulants in water and wastewater treatment / E.K. Tetteh, S. Rathilal // Organic Polymers. – 2019. – No. 1. – P. 1–18.
12. Косогіна І.В. Коагуляційний реагент з відходів глиноземних виробництв / І.В. Косогіна, І.М. Астрелін, Н.В. Стасюк // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – No. 3. – С. 281 – 285.
13. Шаблій Т.О. Розробка коагулянтів для інтенсифікації освітлення стічних вод картонно-паперових виробництв / Т.О. Шаблій // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Volume 1, No. 6. – P. 41 – 44.
14. Birjandi N. Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology / N. Birjandi, H. Younesi, N. Bahramifar // Applied Water Science. – 2016. – No. 6. – P. 339 – 348.
15. Razali M.A.A. Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polydadmac induced flocculation with polyacrylamide in the hybrid system / M.A.A. Razali, Z.A. Ahmad, A. Ariffin // Chemical Engineering Journal. – 2011. – No. 166. – P. 529 – 535.
16. Макулатура паперова й картонна. Технічні умови : ДСТУ 3500:2019. – [Чинний від 2020–07–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2019. – IV, 11 с. – (Національний стандарт України).
17. Галиш В.В. Ресурсозберігаюча технологія одержання картонно-паперової продукції / В.В. Галиш, І.М. Дейкун // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки». – 2021. – №3. (297). – С.112-115.
18. Techno-economic feasibility for water purification from copper ions / I. Trus, V. Halysh, M. Gomelya, D. et al. // Ecological Engineering & Environmental Technology, – 2021. – Volume 22. No. 3. – P. 27–34.
19. Evaluation of Optimal Conditions for the Application of Capillary Materials for the Purpose of Water Deironing / I. Radovenchyk, I. Trus, V. Halysh et al. // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2021. – Volume 22. No. 2. – P. 1–7.

References

1. Sixta H., Potthast A., Krottschek A.W. Chemical Pulping Processes: Handbook of Pulp / Ed. by Herbert Sixta. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2006. – 1291 p.
2. Deykun I. Rapeseed straw as an alternative for pulping and papermaking / I. Deykun, V. Halysh, V. Barbash // Cellulose Chemistry and Technology. – 2018. – Volume 52, No. 9-10. – P. 833-839.

3. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper // L.C. Viana, D.C. Potulski, G.I.B.D. Muniz, A.S.D. Andrade, E.L.D. Silva // *Cerne*. – 2018. – No. 24. – P. 140–148.
4. Fatta-Kassinos D. Wastewater reuse and current challenges / D. Fatta-Kassinos, D. Dionysiou // *The Handbook of Environmental Chemistry*. – 2016. – No. 44. – P. 1–257.
5. Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polyDADMAC induced flocculation / M.A.A. Razali, Z. Ahmad, M.S.B. Ahmad, A. Ariffin // *Chemical Engineering Journal*. – 2011. – Volume 166, No. 2. – P. 529–535.
6. Woods to goods: water consumption analysis for papermaking industry in China / Y. Man, Y. Han, Y. Wang, J. Li, L. Chen, Y. Qian, M. Hong // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – No. 195. – P. 1377–1388.
7. Žarković D.B. Simple and cost-effective measures for the improvement of paper mill effluent treatment—A case study / D.B. Žarković, Ž.N. Todorović, L.V. Rajaković, // *Journal of Cleaner Production*. – 2011. – No. 19(6-7). – P. 764–774.
8. Jung H. Water in the paper industry / H. Jung, J. Kappen // *Professional Papermaking*. – 2014. – No. 2. – P. 11–13.
9. Olanrewaju S., Gustavo M. Pulp and paper mill effluent management / S. Olanrewaju, M. Gustavo // *Water Environment Research*. – 2014. – No. 86. – P. 1535–1544.
10. Hubbe M. Measures to clean up process water / M. Hubbe // *Paper Technology*. – 2007. – No. 48. – P. 23–30.
11. Tetteh E.K., Rathilal S. Application of organic coagulants in water and wastewater treatment / E.K. Tetteh, S. Rathilal // *Organic Polymers*. – 2019. – No. 1. – P. 1–18.
12. Kosohina I.V. Koahuliatsiyniy reagent z vidkhodiv hlynozemykh vyrobnytstv / I.V. Kosohina, I.M. Astrelin, N.V. Stasiuk // *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu*. – 2013. – No. 3. – S. 281–285.
13. Shablilii T.O. Rozrobka koahuliantiv dlia intensyfikatsii osviltrennia stichnykh vod kartonno-paperyovykh vyrobnytstv / T.O. Shablilii // *Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*. – 2013. – Volume 1, No. 6. – R. 41–44.
14. Birjandi N. Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology / N. Birjandi, H. Younesi, N. Bahramifar // *Applied Water Science*. – 2016. – No. 6. – P. 339–348.
15. Razali M.A.A. Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polydadmac induced flocculation with polyacrylamide in the hybrid system / M.A.A. Razali, Z.A. Ahmad, A. Ariffin // *Chemical Engineering Journal*. – 2011. – No. 166. – P. 529–535.
16. Makulatura paperova y kartonna. Tekhnichni umovy : DSTU 3500:2019. – [Chynnyi vid 2020–07–01]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2019. – 11 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
17. Halysh V.V. Resursozberihaiucha tekhnolohiia oderzhannia kartonno-paperyovoi produktsii / V.V. Halysh, I.M. Deikun // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: «Tekhnichni nauky»*. – 2021. – №3. (297). – S.112–115.
18. Techno-economic feasibility for water purification from copper ions / I. Trus, V. Halysh, M. Gomelya et al. // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. – 2021. – Volume 22, No. 3. – P. 27–34.
19. Evaluation of Optimal Conditions for the Application of Capillary Materials for the Purpose of Water Deironing / I. Radovenchuk, I. Trus, V. Halysh et al. // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. – 2021. – Volume 22, No. 2. – P. 1–7.

Надійшла/Paper received : 12.08.2022 р. Надрукована/Printed :01.11.2022 р.