

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ РОБОТИ ОБОРОТНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ КОКСОХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Галкіна О.П.¹, Куницький С.О.²¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків²Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне
helen.smilka31@gmail.com, s.o.kunytskyi@nuwm.edu.ua

У статті наведені розрахунки ефективності впровадження технічних рішень для підвищення роботи оборотної системи водопостачання коксохімічного підприємства. Розрахунок ефективності впровадження технічних рішень із метою підвищення ефективності роботи оборотної системи водопостачання підприємства оцінювався як з екологічної, так і з економічної точки зору. Такі технічні рішення включають підготовку води з її доочищенням на піщаних фільтрах із метою доведення її до якості для використання в оборотній системі водопостачання на ПрАТ «Харківський коксовий завод». Процес доочищення води з метою її освітлення пропонується проводити за допомогою блока фільтрації з використанням шару кварцового піску як фільтрувального завантаження. Пропонується застосовувати автоматичне дозування розчину флокулянта, замінивши дійсний коагулянт на ефективніший. Перед поданням води на очищення пропонується попередньо розводити її у змішувачі. Впровадження низки технічних заходів дозволить використовувати фенольну воду в технічних цілях підприємства, зменшити споживання свіжої води та припинити скидання фенольних стічних вод у міську каналізаційну мережу. Економічний та екологічний ефекти від упровадження технічних заходів досягаються з огляду на скорочення споживання свіжої технічної води на 60 540 м³/рік та припинення скидання фенольних стічних вод у міську каналізаційну мережу, а також з огляду на заміну реагенту на ефективніший та зменшення його витрати. Установлено, що впровадження технічних рішень в оборотну систему водопостачання коксохімічного підприємства є економічно і екологічно доцільним. Наведені техніко-економічні розрахунки доводять позитивний ефект від пропонованих технологічних рішень на ПрАТ «Харківський коксовий завод». Економічний ефект становить 1 338,06 грн/рік, тобто впровадження технічних рішень оборотної системи водопостачання є економічно доцільним. *Ключові слова:* ефективність, економіка, екологія, коксохімічні підприємства, фенольні стічні води.

Efficiency of improving operation of the cooling water supply system of the coke-chemical plant. Galkina O., Kunytskyi S.

The article provides calculations of the efficiency of implementation of technical solutions to improve the operation of the recycled water supply system of the coke chemical enterprise. Розрахунок ефективності впровадження технічних рішень з метою підвищення ефективності роботи оборотної системи водопостачання підприємства оцінювався як з екологічної, так і з економічної точки зору. Such technical solutions include the preparation of water with its post-treatment on sand filters in order to bring it to quality for use in the recycled water supply system at the Kharkiv Coke Plant. The process of post-treatment of water for the purpose of its illumination is proposed to be carried out using a filtration unit using a layer of quartz sand as a filtering charge. It is proposed to apply an automatic dosage of the flocculant solution, replacing the existing coagulant with a more effective one. Before supplying water for purification, it is proposed to pre-dilute it in a mixer. The introduction of a number of technical measures will allow the use of phenolic water for technical purposes of the enterprise, reduce the consumption of fresh water and stop the discharge of phenolic wastewater into the city sewage network. The economic and environmental effects of the introduction of technical measures are achieved due to a reduction in the consumption of fresh service water by 60,540 m³/year and the cessation of the discharge of phenolic wastewater into the urban sewage network, as well as due to the replacement of the reagent with a more efficient one and a decrease in its costs. It was established that the introduction of technical solutions in the recycled water supply system of the coke chemical enterprise is economically and environmentally feasible. The above technical and economic calculations prove the positive effect of the proposed technological solutions at the Kharkiv Coke Plant. The economic effect is 1,338,06 UAH/year, that is, the introduction of technical solutions for a recycled water supply system is economically feasible. *Key words:* efficiency, economics, ecology, coke-chemical enterprises, phenolic wastewater.

Постановка проблеми. Одним із найважливіших питань захисту навколишнього середовища є охорона водного басейну від забруднень, тому основним напрямом екологічності підприємств є ресурсозбереження, повторне або послідовне використання всіх категорій стічних вод. Жорсткість вимог щодо захисту повітряного басейну від забруднень підвищують і вимоги до якості очищення стічних вод [1].

Актуальність дослідження. Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності процесу очищення води на коксохімічних підприємствах за умови раціонального використання водних ресурсів підприємства та з урахуванням їх економічності. Відомо, що одним із найважливіших питань захисту навколишнього середовища є охорона водного басейну від забруднень, тому основним досягненням екологіч-

ності підприємств є ресурсозбереження, повторне або послідовне використання всіх категорій стічних вод [1].

Отож, підвищення роботи оборотної системи водопостачання коксохімічних підприємствах з економічної, екологічної і технічної точки зору є головним фактором у підготовці води для повторного її використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема очищення стічних вод коксохімічного виробництва вирішується комплексом фізико-хімічних, механічних і біохімічних методів, які використовуються для очищення локальних стоків і загального фенольного стоку на біохімічних установках. Вибір методів і ефективність очищення визначаються тим, як використовуються очищені стічні води. На більшості коксохімічних підприємств очищені стічні води використовуються для гасіння коксу [2–3].

Зарубіжний досвід очищення фенольних стічних вод на коксохімічних підприємствах показує, що очищення проводиться екстракційним методом, а доочищення – біологічним. На деяких заводах установлені кварцеві фільтри, які ефективно витягують смолисті речовини з надсмольної води, і флотаційні установки для знемаслення стічних вод, а також біологічні установки для знешкодження стічних вод. Останнім часом актуальним є доочищення стічних вод, адже лише біохімічного очищення промислових стічних вод у ряді випадків уже не є достатньо [1–6].

Метою дослідження є розрахунок ефективності підвищення роботи оборотної системи водопостачання на коксохімічних підприємствах для доведення якості оборотної води для повторного використання в системі. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- запропонувати технічні рішення та провести відповідні розрахунки щодо підвищення ефективності процесу очищення води на коксохімічних підприємствах з урахуванням як екологічних, так і економічних факторів;

- провести економічне обґрунтування пропонуваніх технічних рішень.

Виклад основного матеріалу. Економічний ефект та підвищення ефективності процесу очищення води проводиться на ПрАТ «Харківський коксовий завод» і досягається впровадженням системи оборотного водопостачання та передбачає нові технічні рішення [7]:

- уведення розчинів флокулянта за допомогою автоматичної станції приготування розчинів флокулянтів «Smart Mix»;

- підвищення ефективності роботи біохімічної установки шляхом додавання доочистки блоку фільтрації для освітлення стічної води з використанням шару кварцового піску як фільтрувального завантаження;

- трубопроводи для подання технічної очищеної води в оборотну мережу водопостачання заводу.

Економічний та екологічний ефекти від упровадження системи оборотного водопостачання розраховується за формулою [8-9]:

$$\Delta E = E(C + K \cdot r), \quad (1)$$

де E – ефективність заходу; C – капітальні витрати, грн; r – коефіцієнт дисконтування, 0,15; K – експлуатаційні витрати, грн/рік.

Ефективність заходів розраховують за формулою:

$$E = (P_{ci} - P_{ci}^{cob}) + P_{зб} + P_{сб}^{cob}, \quad (2)$$

де P_{ci} – величина наявної суми збору за спеціальне водокористування, грн/рік.

P_{ci}^{cob} – величина суми збору за спеціальне водокористування під час упровадження системи оборотного водопостачання, грн/рік.

$P_{сб}$ – дійсна величина плати за скидання стічних вод у систему міської каналізації, грн/рік.

$P_{зб}^{cob}$ – величина плати за скидання стічних вод у систему міської каналізації під час упровадження системи оборотного водопостачання, грн/рік.

Величина дійсної суми збору за спеціальне водокористування ПрАТ «Харківський коксовий завод». Фактичні витрати зі свердловин становлять 241 200 м³ за рік (за даними ТП водогосподарства за 2018 рік (витрата розраховані за даними балансової схеми водоспоживання та водовідведення підприємства)). Ліміт водоспоживання за рік склав 300 000 м³/рік згідно з Паспортом водного господарства заводу.

Дійсна сума збору, яка проводиться за спеціальне водокористування (P_{ci}), обчислюється платниками самостійно щоквартально зростаючим підсумком із початку року відповідно до Інструкції про порядок обчислення і справляння збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту від 01.10.99 р. №231/539/118/219.

Сума збору визначається за формулою:

$$P_{ci} = V_n \cdot H_{bi} + 5V_{св} \cdot H_{bi} \quad (3)$$

де V_n – фактичний об'єм води, що споживається в межах ліміту (м³/рік);

H_{bi} – норматив збору за спеціальне водокористування підземних вод,

$H_{bi} = 2$ грн/м³ (згідно з даними підприємства та відповідно до постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження нормативів збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту» м. Київ, оскільки найменування регіону – Харківська область).

$V_{св}$ – об'єм споживаної води понад ліміту, м³/рік.

Оскільки відсутній об'єм водоспоживання понад ліміту, то формула набуде такого вигляду: $P_{ci} = V_n H_{bi} = 241200 \cdot 2 = 482\,400$ грн/рік.

Таким чином, дійсна сума збору за водокористування на потреби ПрАТ «Харківський коксовий завод» становить: 482 400 грн /рік.

Величина дійсної плати за скидання стічних вод на ПрАТ «Харківський коксовий завод» у систему міської каналізації ведеться Водоканалом.

Розрахунок проводиться за формулою відповідно до Інструкції про встановлення та стягнення плати за скид

промислових та інших стічних вод у системи каналізації населених пунктів та Правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів № 37 від 19.02.2002 р. м. Київ:

$$P_{cb} = T \cdot V_{дог} + 5T \cdot V_{пдог} + V_{пз} \cdot K_k \cdot H_n \quad (4)$$

де T – тариф за надання послуг водовідведення, грн/м³ (встановлений Харківкомуночиствод); $T = 6,5$ грн/м³.

$V_{дог}$ – об'єм скинутих підприємством стічних вод у межах установлених договором, м³;

$V_{сд}$ – об'єм скинутих стічних вод понад установлену межу, м³;

$V_{пз}$ – об'єм скинутих підприємством стічних вод із наднормативним забрудненням, м³. Період, за який установлюється плата за скидання з перевищенням допустимих концентрацій, не може перевищувати трьох календарних місяців. Уважаємо, що порушення разове, тому: $V_{пз} = V_{ф} / 4$;

K_k – коефіцієнт кратності, який урахує рівень небезпеки скинутих забруднень для технологічних процесів очищення стічних вод та екологічного стану водойми;

H_n – установлений норматив плати за скид понаднормативних забруднень у систему каналізації, грн/м³.

На ПрАТ «Харківський коксовий завод» є договір із «Харківкомуночиствод» на ліміт водовідведення та кількість відведених забруднювальних речовин зі стічними водами в одиниці об'єму. Ліміт на водовідведення становить 360 000 м³ на рік. За даними ТП водогосподарства за рік підприємством було скинуто 60 540 м³.

Плата за скид виробничих стічних вод у міську каналізаційну мережу буде проведена за зменшеною формулою, зважаючи на те, що об'єм скинутих виробничих стічних вод від розглянутого об'єкта перебуває в межах ліміту та відсутня наднормативне забруднення стічних вод.

Тоді, $P_{зб} = T \cdot V_{дог} = 6,5 \cdot 60540/4 = 983\,777,5$ грн.

Величина плати за скид стічних вод у систему міської каналізації за рік склала: $P_{зб}' = 60540 \cdot 6,5 = 393\,510$ грн.

Проектована сума збору за спеціальне водокористування підземних вод. Під час впровадження замкнутого водопостачання необхідно зменшити споживання води зі свердловин до 180 660 м³/рік. Ліміт на водоспоживання – 300 000 м³/рік згідно з Паспортом водного господарства заводу.

Сума збору, яка планується проводитись за спеціальне водокористування ($P_{сб}^{cob}$), буде обчислюватися платниками самостійно шоквартально зростаючим підсумком із початку року відповідно до Інструкції про порядок обчислення і справляння збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту від 01.10.99 р. № 231/539/118/219.

Сума збору визначається за формулою:

$$P_{сб}^{cob} = V_n \cdot H_{bi} + 5V_{св} \cdot H_{bi} \quad (5)$$

де V_n – фактичний об'єм води, що споживається в межах ліміту (м³/рік);

H_{bi} – норматив збору за спеціальне водокористування підземних вод, та становить 2 грн за 1 м³ води (згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження нормативів збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту» м. Київ, оскільки найменування регіону – Харківська область);

$V_{св}$ – об'єм споживаної води понад ліміт, м³/рік.

Оскільки заплановані витрати води не буде перевищувати ліміту, при цьому сума збору за водокористування на потреби цього об'єкта становитиме:

$$P_{сб}^{cob} = V_n \cdot H_{bi} = 180660 \cdot 2 = 361\,320 \text{ грн/рік.}$$

Величина плати за скид стічних вод у систему міської каналізації. Під час упровадження системи оборотного водопостачання відсутнє скидання стічних вод у міську каналізаційну мережу, тому: $P_{зб}^{cob} = 0$ грн.

Таким чином, економічний ефект від запропонованих технічних рішень у зв'язку із скороченням скиду води у міську каналізаційну мережу та зменшенням витрати води зі свердловини становитиме:

$$E = (P_{сб} - P_{сб}^{cob}) + P_{зб} + P_{сб}^{cob} = (482400 - 361320) + 393510 + 0 = 514\,590 \text{ грн.}$$

Витрати у зв'язку із застосуванням реагентів. Зважаючи на запропоноване технологічне рішення, яке передбачає застосування розчину флокулянту для підвищення ефективності процесу очищення води на підприємстві, виникають додаткові витрати (у зв'язку із застосуванням реагентів) (табл. 1).

Таким чином, економія витрат (у зв'язку зі зміною реагенту та його дози) становитиме 1 176 820 грн.

Таблиця 1

Додаткові витрати у зв'язку із застосуванням реагентів

| Номер з/п | Спосіб оброблення | Ціна реагентів за 1 кг, грн/кг | Витрата реагентів, т/рік | Ціни на витрату реагентів, грн/рік |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Композитний коагулянт: | | | | |
| 1 | - сульфат заліза (II) $FeSO_4$ | 3,5 | 35,00 | 122500 |
| 2 | - хлорид алюмінію $AlCl_3$ | 180 | 10,416 | 1874880 |
| Усього за п.п. 1+2 | | | 1997380 | |
| Флокулянт: | | | | |
| 3 | Extraflock або Besfloc | 156 | 5,26 | 820560 |
| Усього за п. 3 | | | 820560 | |

У процесі розрахунку приймаємо питомі норми витрати матеріалів на одиницю продукції. Ціни на реагенти – договірні. Питомі норми витрати реагентів установлюємо на 1 м³ води.

Розрахунок витрат за матеріалами приймаємо на об'єм води, що надходить на очищення [8–9].

Капітальні та експлуатаційні витрати. Капітальні витрати на підвищення ефективності процесу очищення води на коксохімічному підприємстві враховують:

- вартість станції приготування реагенту;
- вартість блока фільтрації для доочищення води;
- вартість експлуатаційних витрат (монтажних робіт обладнання та витрати на обслуговування обладнання).

Капітальні витрати будуть розраховуватися так:

$$C = C_{СПФ} + C_{фільтр} + C_{змішувач} = 52\ 000 \text{ грн.}$$

де $C_{СПФ}$ – капітальні витрати на установку приготування реагенту, грн;

$C_{фільтр}$ – капітальні витрати на установку фільтра для освітлення стічної вод з використанням в якості фільтруючого завантаження – шар кварцового піску, грн;

$C_{змішувач}$ – капітальні витрати на установку змішувача для виробничих і побутових стічних вод, грн.

Експлуатаційні витрати будуть розраховуватися за формулою:

$$K = K_{загрузки} + K_{фільтр} = 89\ 000 \text{ грн/рік}$$

де $K_{загрузки}$ – експлуатаційні витрати на обслуговування станції приготування реагенту СПФ 2100;

$K_{фільтр}$ – експлуатаційні витрати на обслуговування блока фільтрації для освітлення стічної води з використанням шару кварцового піску як фільтрувального завантаження, грн /рік;

Таблиця 2

Капітальні та експлуатаційні витрати

| Матеріали та обладнання | Капітальні витрати; С, грн | Експлуатаційні витрати; К, грн/рік |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|
| • станція приготування реагенту | 320 000 | 10 000 |
| • блок фільтрації для освітлення стічних вод з використанням шару кварцового піску як фільтрувального завантаження; | 20 000 | 4 000 |
| • ємність для змішування виробничих і побутових стічних вод (100 м ³) • проектування, реконструкція, капітальний ремонт ємності для змішування • пусканалагоджувальні роботи | – | 75 000 |
| Усього: | 340 000 | 89 000 |

Таблиця 3

Техніко-економічні показники впроваджуваного методу очищення води

| Номер з/п | Назва показників | Од. вим. | Базовий варіант | Після впровадження технології |
|-----------|---|--------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | Автоматизована станція приготування реагенту | тис. грн | - | 320 |
| 2 | Блок фільтрації для доочищення води | тис. грн | - | 20 |
| 3 | Ємність для змішування води | м ³ | 100 | 100 |
| 4 | Усього за п.п. 1+2+3 | тис. грн | - | 340 |
| 5 | Проектування, реконструкція, капітальний ремонт ємності для змішування* | тис. грн | - | 30 |
| 6 | Пусканалагоджувальні роботи* | тис. грн | - | 45 |
| 7 | Витрати на ремонт і обслуговування обладнання | тис. грн/рік | - | 14 |
| 8 | Автоматизована станція приготування реагенту | тис. грн | - | 10 |
| 9 | Блок фільтрації для доочистки води | тис. грн | - | 4 |
| 10 | Усього за п.п. 5+6+7=8+9 | тис. грн | - | 89 |
| 11 | Ціна забору технічної води | грн/м ³ | 2 | 2 |
| 12 | Ціна скиду фенольних стічних вод | грн/м ³ | 6,5 | 6,5 |
| 13 | Кількість споживаної технічної води | тис. м ³ /рік | 241,2 | 180,66 |
| 14 | Кількість фенольних стічних вод, які скидаються в міську каналізаційну мережу | тис. м ³ /рік | 60,54 | - |
| 15 | Ціна оброблення води коагулянтами чи флокулянтам | тис. грн/рік | 1997,38 | 820,56 |

* Згідно з даними, представленими підприємством.

$K_{зм}$ – експлуатаційні витрати на обслуговування змішувача для виробничих і побутових стічних вод, грн/рік.

Склад капітальних витрат на підвищення ефективності процесу очищення води на коксохімічному підприємстві та необхідних експлуатаційних витрат наведено в таблиці 2.

Техніко-економічні показники впровадженого методу для підвищення ефективності роботи оборотної системи водопостачання на коксохімічних підприємствах із застосуванням ефективних коагулянтів чи флокулянтів наведено в таблиці 3.

Таким чином, загальний економічний ефект, розрахований за формулою (1), становить:

$$DE = 514,59 + 1\,176,82 - (340 + 89 \cdot 0,15) = 1\,338,06 \text{ грн.}$$

Таким чином, економічний ефект від упровадження технічних рішень із застосуванням ефективного флокулянту та доочищенням води на піщаних фільтрах з урахуванням використання фенольної води як підживлювальної в перший рік експлуатації становитиме 1 338,06 грн/рік.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Розроблені нові технологічні рішення щодо підвищення ефективності роботи оборотної системи водопостачання дозволяють досягти екологічного ефекту за рахунок припинення скидання фенольних стічних вод у міську каналізаційну мережу та зменшення споживання артезіанської води зі свердловин на 60 540 м³/рік. Так, результати роботи [7] використано під час розроблення технологічних рішень щодо підвищення ефективності процесу очищення води коксохімічних підприємств, зокрема на ПрАТ «Харківський коксовий завод».

Наведені техніко-економічні розрахунки доводять позитивний ефект від пропонованих технологічних рішень на ПрАТ «Харківський коксовий завод», який становить 1 338,06 грн/рік, тобто впровадження технічних рішень оборотної системи водопостачання є економічно доцільним. Таким чином, економічний ефект досягається не тільки скороченням споживання артезіанської води зі свердловин та припиненням скидання фенольних стічних вод у міську каналізаційну мережу, а також у зв'язку із заміною реагенту на ефективніший та зменшенням його витрати.

Література

1. Лях Б.А. Проблема очистки сточных вод на предприятиях коксохимической промышленности. *Охрана навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів* : матеріали XXI Всеукр. наук. конф. аспірантів і студентів, 12–14 квітня 2011 р. Донецьк, 2011. С. 103–104.
2. Павлов Д.В., Вараксин С.О., Колесников В.А. Обратное водоснабжение промышленных предприятий. *Сантехника*. 2010. № 2. С. 30–35.
3. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод: навч. посібник / Епоян С. М. та ін. Харків : вид. «Міськдрук», 2012. 452 с.
4. Popova A., Christov M. Evaluation of impedance measurements on mild steel corrosion in acid media in the presence of heterocyclic compounds. *Corros. Sci.* 2006. Vol. 48. P. 3208.
5. Термодинамические аспекты технологии очистки маслоэмульсионных сточных вод / Слепцов Г. В. и др. *Экология и промышленность*. 2013. № 4. С. 65–68.
6. Александров И.В., Родюшкин О.И., Ибраев К.С. Электрофлотационная очистка сточных вод коксохимического производства от смол и масел. *Кокс и химия*. 1992. № 7. С. 41–44.
7. Galkina O., Vlahodarna H. The use of effective coagulants and flocculants to intensify the process of water purification at coke plants. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2019. V. 27, № 2. С. 21–28.
8. Економіка довкілля і природних ресурсів: навч. посібник / за заг. ред. П. Т. Бубенка. Харків : Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова, 2014. 280 с.
9. Салов В.Н., Сусяева М.Ю. Экономические и технологические аспекты синтеза полимерных флокулянтов и инновационные технологии полимеризации. *Вода : Экология и Технология* : тезисы IV Междунар. конгресса, 30 мая – 2 июня 2000 р. Москва, 2000. С. 416.