

**Волкова Л. А., Литвиненко Л. Л.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ**

На основі проведених досліджень запропоновано схему відведення та очищенні зливової води та можливості її використання для підживлення оборотної системи водопостачання підприємства. Також використовуючи звітно-статистичний метод проведено уточнення фактичної норми водоспоживання, що має теоретичне та практичне значення, так як сприяє раціональному, економічно обґрунтованому використанню водних ресурсів при можливих змінах технологічних процесів, а також при зміні обсягів виробництва.

**Ключові слова:** оборотні системи водопостачання, зливі води, раціональне використання водних ресурсів, питома норма водоспоживання, водопостачання промислових підприємств.

**Державна власність** на воду створює сприятливі умови для раціонального і комплексного використання водних ресурсів, а також регулювання водних відносин між водокористувачами.

Раціональне використання вод – це мета правового регулювання й обов'язок усіх водокористувачів. Воно припускає всебічне науково обґрунтоване використання вод для одержання оптимального економічного ефекту. Оптимізація раціонального використання здійснюється залежно від виду водокористування.

Обґрунтування стратегії промислового водокористування окремо взятого підприємства передбачає розробку заходів щодо раціонального використання водних ресурсів: встановлення потреб у воді для окремих технологічних процесів, корегування норм водоспоживання, пошук резервів для створення маловодних і безводних технологічних процесів, впровадження нетрадиційних джерел водоспостачання.

Заходи щодо збереження водних ресурсів розробляються залежно від функціонального використання води. Одним з водозберігаючих заходів є скорочення споживання свіжої води з природних водойм за рахунок багаторазового використання вод у системах оборотного та повторного водопостачання. Оборотні системи не скорочують валової потреби у воді, але їх застосування дозволяє в десятки разів знизити забір свіжої води і скоротити скид відпрацьованих вод у водойму. Оборотні системи водопостачання передбачають очищення відпрацьованих виробничих стічних вод на підприємстві, що є економічно доцільним, так як очищення здійснюється в межах технологічного процесу, а не в межах санітарно-гігієнічних норм у випадку скиду їх у водний об'єкт.

В оборотні системи водопостачання з джерел надходить лише та кількість свіжої води, яка необхідна для компенсації втрат. При цьому, необхідно відзначити, що оборотні системи не є екологічно чистими системами, незважаючи на скорочення або навіть відсутність скиду стічних вод у водні об'єкти. Серед екологічних аспектів водокористування необхідно враховувати те, що при створенні малопродувних або безпродувних оборотних систем охолодження збільшується солеміст оборотної води, що потребує постійного корегування їх концентрації.

Різноманіття промислових виробництв і різних вимог до води, що використовується, зумовлює велику кількість водозберігаючих заходів, а саме використання додаткових джерел водопостачання, очищення і відведення поверхневого стоку з територій промислових підприємств для використання в технічному водопостачанні, використання доочищених міських стічних вод у закритих системах водопостачання, використання дренажних кар'єрно-

шахтних вод тощо.

Крім того до головних показників використання водних ресурсів відноситься питома норма водоспоживання, як середнє значення витрат води для виробництва одиниці продукції при визначених організаційно-технічних умовах виробничого процесу.

Значення питомої норми залежить не тільки від виду продукції що випускається а й від особливостей технологічного процесу. Так при виробництві цементу використання води залежить від кількості печей випалу, що працюють у постійному режимі, тому при зменшенні обсягів виробництва може спостерігатися тенденція збільшення питомих норм водоспоживання.

**Метою роботи** є пошук альтернативних джерел промислового водопостачання з метою зменшення забору свіжої води, запобігання забрудненню поверхневих вод в наслідок скиду стічних вод та обґрунтування питомих норм споживання води залежно від фактичних обсягів виробництва.

Пошук альтернативних джерел промислового водопостачання та корегування фактичних питомих норм є актуальним питанням, що сприяє раціональному, економічно обґрунтованому використанню водних ресурсів, має теоретичне і практичне значення. Дослідженням цього питання присвячені роботи як вчених різних регіонів України, зарубіжних країн так і самих підприємств.

**Аналіз поверхневого стоку** з території промислових підприємств Рівненщини показує, що він є інтенсивним фактором антропогенного навантаження на природні водні об'єкти і потребує очищення перед скидом. Тому, в даний час, проводять багато досліджень, які обґрунтовують доцільність цього питання [1, 2]. При розробці технічних рішень щодо покращення роботи існуючих систем водопостачання промислових підприємств особливу увагу необхідно звертати на зменшення витрат живильної води та скидам продувочної води. Технології очищення і повторного використання зливових вод для різних галузей значно відрізняються у зв'язку з якісними та кількісними показниками зливових вод. На підставі цього, питання можливості використання зливових вод у системах водопостачання підприємств повинні досліджуватись окремо для кожного виробництва з вивченням якісних та кількісних характеристик зливової води та вимогами діючих систем.

**Порівняння систем водопостачання** підприємств різних галузей, дало можливість зробити висновок про те, що багато виробничих процесів не завжди, або не в повній мірі, дозволяють використовувати безводні технології. Прикладом цього може бути виробництво цементу, скловиробів тощо.

На ПАТ "Волинь-цемент" проведено дослідження характеру використання водних ресурсів (рис. 1). Підприємство використовує технічну воду, яку подають з р. Устя; а на виготовлення сировини для клінкеру воду збирають з кар'єру. Воду питної якості на господарсько-побутові потреби обслуговуючого персоналу подають з системи водопостачання комунального підприємства "Здолбунівводоканал". Виробничі стічні води від охолодження обладнання знаходяться у оборотному циклі без скиду за межі території підприємства.

Дощові та талі води з території промислового підприємства збирають системою зливової каналізації, очищують і, за умовами дозволу на спеціальне водокористування, скидають меліоративним каналом в річку. При цьому було з'ясовано, що в річку скидалась вода з більшим вмістом завислих речовин, чим на виході з очисної споруди [3, 4]. Це пояснюється тим, що відбувався розмив земляного русла меліоративного каналу.

Для збереження вод річки Устя від забруднення було розглянуто можливість використання поверхневого стоку, що формуються на території ПАТ "Волинь-цемент", для підживлення оборотної системи водопостачання [5]. Поверхневий стік з території підприємства складався переважно зі стоку дощових та талих вод. Річний об'єм цих вод визначався з урахуванням загальної площі водозбору підприємства, в тому числі площі покрівель будівель, асфальтового покриття, площі ґрунтових поверхонь, газонів. Річний обсяг кількості зливової води визначався за формулою

$$W = 10 H_m F_{заг} Y_{\delta} + 10 H_x F_{заг} Y_m, \quad (1)$$

де  $H_m, H_x$ , – відповідно, середньорічний шар опадів (за теплу – 569 мм та холодну – 143 мм пору року);  $F_{заг}$  – загальна площа водозбору, га;  $Y_{\delta}, Y_x$  – коефіцієнти стоку для дощових та талих вод відповідно.

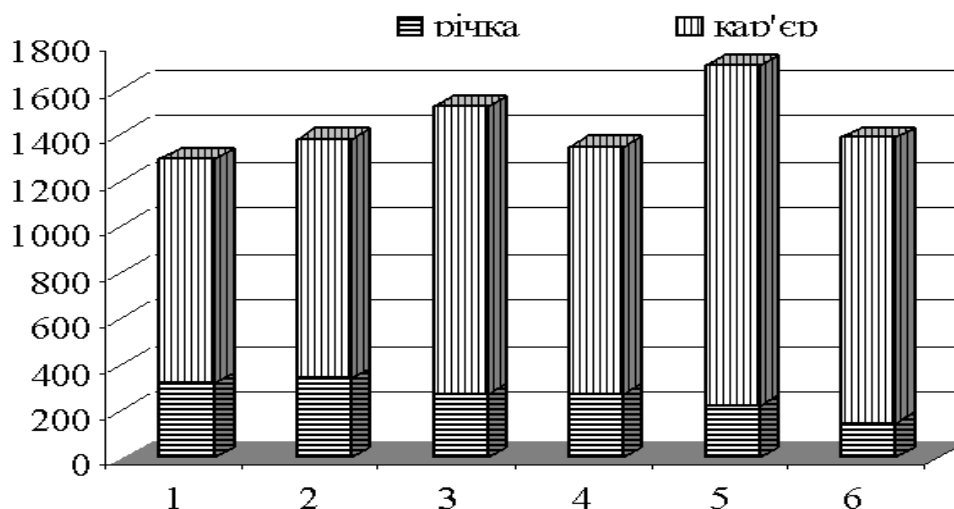


Рис. 1. Споживання технічної води, тис. м<sup>3</sup>

На підставі оціночних розрахунків встановлено, що в середньому упродовж року з площі промислового підприємства формується 98196 м<sup>3</sup> води. Порівняння фактичного використання технічної води і можливих витрат поверхневого стоку, довело можливість економії до 30% води, яка забирається з річки.

Поверхневий стік з території промислового підприємства ПАТ «Волинь-цемент» надходить у мережу дощової каналізації через систему колекторів та дощоприймачів, які поки що не повністю охоплюють всю територію. На рис. 2 наведена запропонована схема використання поверхневого стоку в системі оборотного водопостачання підприємства. При цьому води поверхневого стоку проходять часткове очищення у відстійниках біля відповідних цехів, що забезпечує деяке видалення домішок, що осідають та спливають та певної кількості органічних речовин. Двома колекторами дощової каналізації (1) води надходять до приймальної камери для накопичення (2), після чого вони потрапляють у горизонтальний піскоуловлювач (3), а далі в регулятор-відстійник (4) та біоплато гідропонного типу. Раніше доочищені до нормативних значень зливної води скидалися каналом у річку Устя. Запропонована схема передбачає не скидати очищені води в річку, а накопичувати і періодично перекачувати в резервуари градирень, відновлюючи цим втрати води в оборотній системі.

Аналіз якісних показників зливної води показав, що індекс стабільності води р. Устя (0,83) вище ніж у зливовій воді (0,3-0,5), а це означає, що карбонат кальцію в більшому ступені може випадати із річкової води. Каламутність зливної води після очищення знаходиться в допустимих межах [5]. Ці фактори підтверджують можливість використання зливної води в оборотній системі.

Запропонована схема передбачає повністю охопити територію підприємства зливовою каналізаційною мережею. Після біоплато вода, з метою її раціонального використання, має подаватися у резервуар-накопичувач очищеної води (5), резервуари градирні (6), а звідти – вода надходить в систему оборотного водопостачання підприємства.

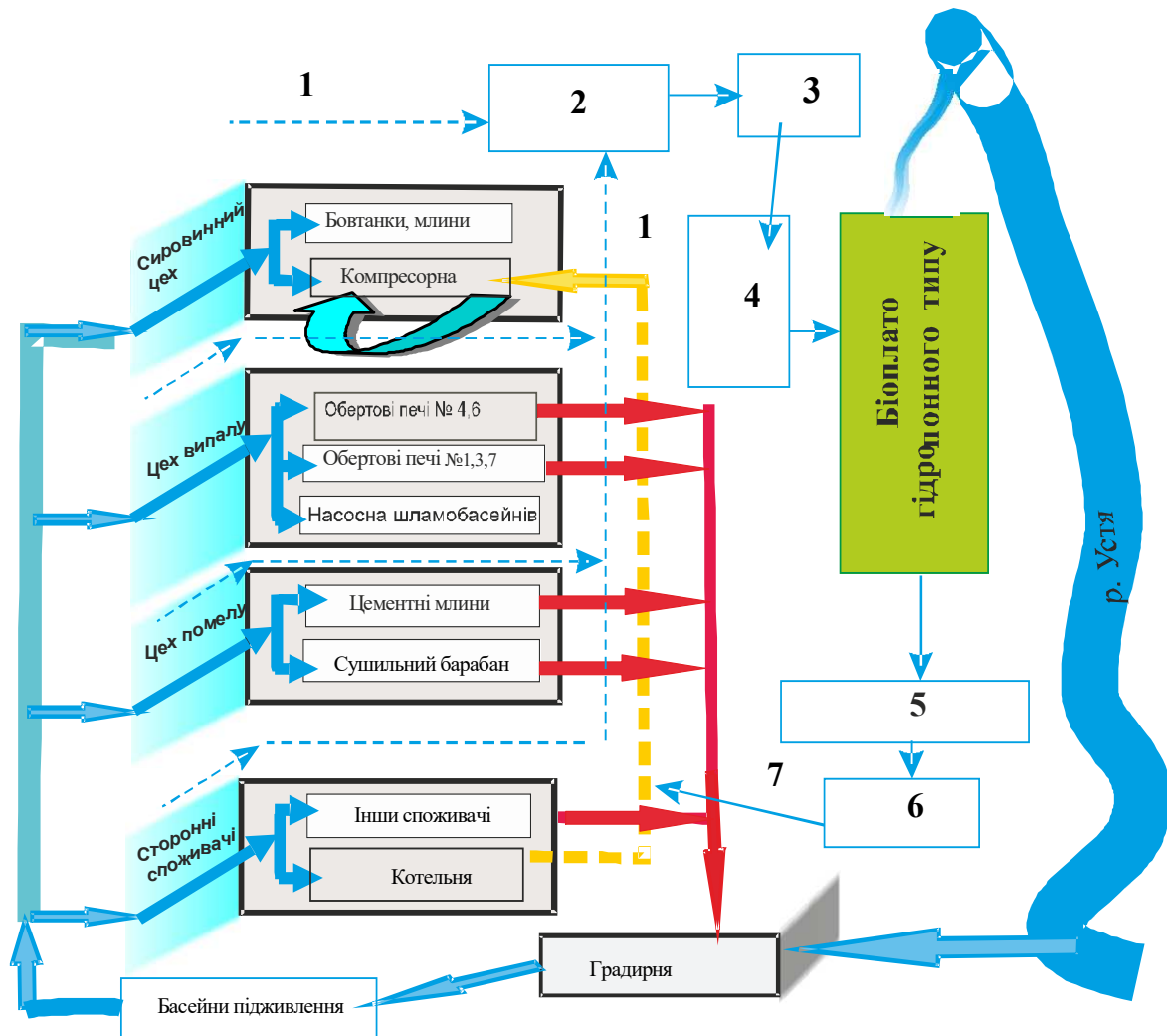


Рис. 2. Схема використання поверхневого стоку у системі оборотного водопостачання: 1 – система зливової каналізаційної мережі; 2 – приймальна камера; 3 – піскоуловлювач; 4 – регулятор-відстійник; 5 – резервуар-накопичувач очищеної води; 6 – резервуари градирні; 7 – подача води в систему зворотного водопостачання підприємства

Для обґрунтування та розрахунку питомої норми водопостачання використовувалися теоретичний, розрахунково-аналітичний, експериментальний та звітно-статистичний методи. Теоретичний метод базувався на матеріалах обробки технологічних регламентів, рецептури сировини, розрахунку теоретичних витрат сировинних компонентів тощо. Розрахунково-аналітичний та експериментальний методи передбачали визначення питомих норм за результатами математичної обробки даних, з використанням кореляційного і регресійного аналізу та на підставі відповідно проведеного обліку використання води. Звітно-статистичний метод полягав у визначенні питомих норм витрат технічної води на одиницю продукції за даними фактичного використання водних ресурсів за період дослідження з урахуванням факторів, що впливали на зміну норм споживання водних ресурсів [5, 6].

Вихідними даними для проведення досліджень був створений банк даних щодо використаних об'ємів води та обсягів виробництва за тривалий період на ПАТ «Волинь-цемент».

Процес виробництва портландцементу складається з виробництва клінкеру та виробництва безпосередньо цементу. Шлам отримується з крейди, суглинку, глини Кривинської, каоліну, залістистих домішок, які змішуються та розмелюються в присутності води (мокрый спосіб). Отримана таким чином суміш проходить випал в обертових печах при

температурі 1400-1450 °С з утворенням клінкеру. Після виходу з печі клінкер швидко охолоджується. Шматки охолодженого клінкера розмелюють з іншими домішками, що зумовлює отримання цементу з різними властивостями. При підготовці сировини використовують значну кількість води. Теоретична витрата води на виробництво однієї тони клінкеру, з врахуванням коефіцієнта співвідношення цементу і клінкеру дорівнює 0.385 м<sup>3</sup> на тону цементу. Тобто, кількість використаної води буде прямопропорційно залежить від обсягів підготовленої сировини. Для приготування крейдяної пульпи на бовтанки гірничого цеху подається кар'єрна вода. Крім приготування шламу у процесі виробництва цементу технічна вода використовується, для охолодження обладнання (компресорів, підшипників обертових печей), охолодження маслостанції вугільного млина і для уприскування води у млин, сушильних барабанів, охолодження газів, що відводяться, потреб мінікотелень та поливу території. Вода для охолодження знаходяться у замкнутому циклі без скиду за межі території виробництва. Охолоджена вода збирається у резервуарі градирні, сюди ж, на підживлення зворотної води (за рахунок втрат на випаровування, унесення вітром та безповоротні втрати), подається технічна вода з річки Устя насосами насосної станції I-го підйому. З резервуара градирні охолоджена вода насосами насосної станції II-го підйому подається на технологічні потреби (безповоротно) та на охолодження обладнання. Нагріта вода від обладнання по самопливним трубопроводам надходить в резервуари нагрітої води та в градирню для охолодження.

Режим роботи обертових печей, млинів, сушильних барабанів не залежить від кількості поданої сировини, а вода на охолодження повинна надходити постійно. Таким чином вода, яка використовується в технологічному процесі включає оборотні води, витрати кар'єрної води та витрати води з р. Устя для підживлення.

За результатами обробки статистичної звітності було встановлено, що забір технічної води з поверхневих джерел значно коливається як за окремими роками, так і впродовж календарного року (рис. 3),

де  $q_{tex}$  – питома норма, м<sup>3</sup>/т в середньому за рік,  $Q_k$ ,  $Q_p$  – витрати технічної води, які забираються з кар'єру і річки Устя,  $N$  – обсяг виробництва цементу за відповідний період часу.

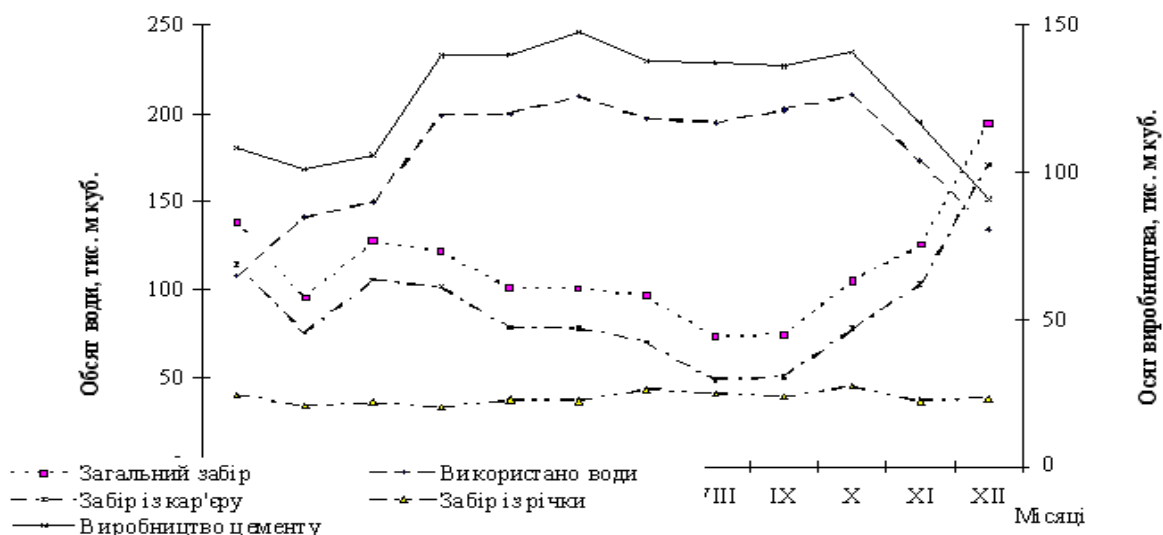


Рис. 3. Характер використання водних ресурсів при виробництві цементу

Результати аналізу рис. 3 дали змогу зробити висновок, що споживання води підприємством та забір з різних джерел впродовж року є дуже нерівномірним, а за останні роки, в цілому, спостерігається загальна тенденція зменшення використання води. Це зумовлено, в першу чергу, обсягами виробництва, а також і впровадженням заходів щодо раціонального використання водних ресурсів.

Згідно з нормативами питома норма використання технічної води на тону продукції для мокрого способу виробництва цементу становить  $1.9 \text{ м}^3/\text{т}$  [6]. Норми водоспоживання залежать в основному від таких факторів як: – спосіб виробництва; призначення води в процесі виробництва; рівня використання водних ресурсів; системи водопостачання, умов використання води.

Ці норми розробляються для підприємств, об'єднань і галузі в цілому. Вони використовуються для цілей поточного планування, визначення планової потреби у воді, розробки водних балансів, а також контролю за використанням води в окремих ланках промислового виробництва. Поточні норми діють із моменту їх встановлення до зміни умов виробництва, що впливають на величину норм. Зі зміною умов виробництва поточні норми повинні бути переглянуті.

Нерівномірність виробництва цементу впродовж року, його різка зміна призводить до того, що планові показники використання води не відповідають встановленим питомим нормам. Враховуючи, що виробничі води знаходяться в оборотній системі водопостачання, то питома норма використання технічної води на тону продукції для мокрого способу виробництва цементу може бути визначена за формулою

$$q_{\text{тех}} = (Q_{\text{к}} + Q_{\text{р}}) / N, \text{ м}^3/\text{т}. \quad (2)$$

За даними статистичної обробки даних використання водних ресурсів та випуску продукції встановлено, що питомі норми знаходяться у оберненої залежності від кількості продукції, що була вироблена (рис. 4, 5). При цьому чітко прослідковується залежність, що при обсягах виробництва продукції на ПАТ “Волинь-цемент” до 100 тисяч тон на місяць значення питомої норми коливаються в межах від 1,5 майже до  $4,0 \text{ м}^3/\text{т}$ . Тобто відмічається перевищення нормативного значення питомої норми використання технічної води на тону продукції для мокрого способу виробництва цементу [6] майже в два рази.

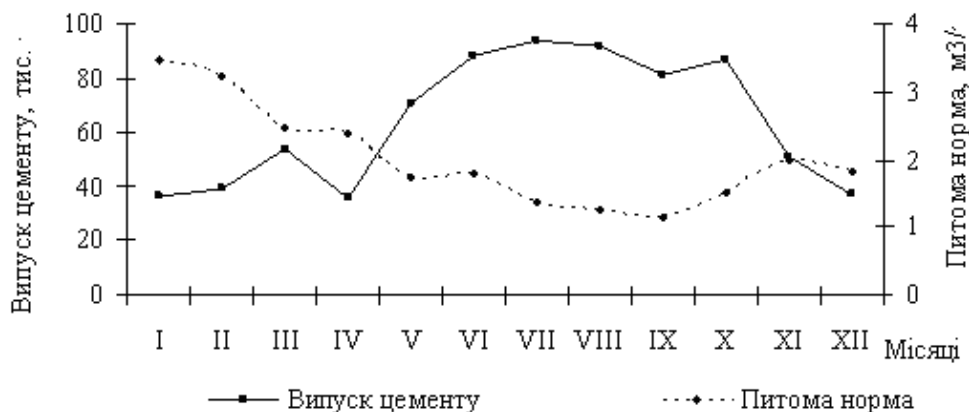


Рис. 4. Залежність між питомою нормою та обсягом виробництва цементу до 100 тис. т

При обсягах щомісячного виробництва цементу які перевищують 100 тисяч тон значення питомої норми становлять в межах  $1,5-2,5 \text{ м}^3/\text{т}$ . Таким чином можна встановити, що нормативне значення питомої норми в межах  $1,9 \text{ м}^3/\text{т}$  може бути забезпечено при обсягу виробництва цементу не менше 120 тисяч тон за місяць.

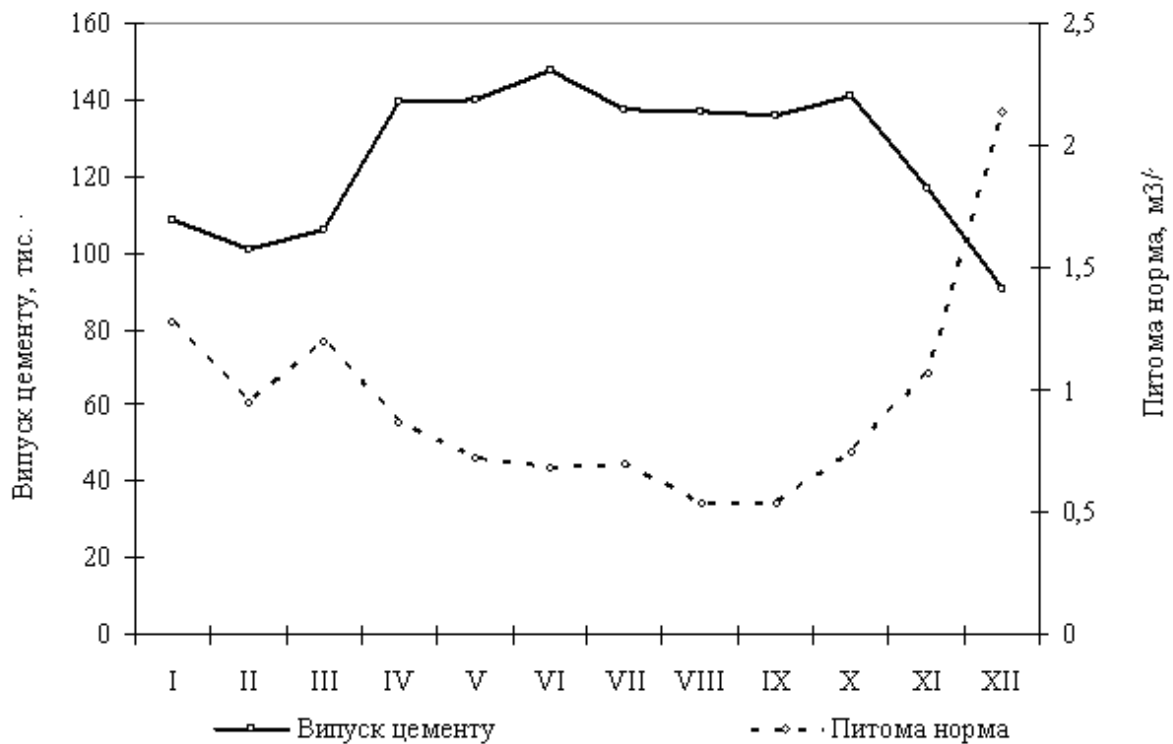


Рис. 5. Залежність між питомою нормою та обсягом виробництва цементу більше 100 тис. т

З метою встановлення залежності питомої норми технічної води від обсягу виробництва цементу було проведено регресійний та кореляційний аналіз бази даних, як для окремих років так і в цілому за період досліджень. При проведенні математичного аналізу даних спостережень були побудовані графіки залежності питомої норми від обсягу виробництва для окремих років спостереження, проведено регресійний та кореляційний аналіз. Значення коефіцієнтів детермінації для різних років досліджень коливалися в межах 0,438-0,821.

Крім того було проведено аналіз взаємозв'язку між питомою нормою використання технічної води і обсягом виробництва для усієї сукупності даних спостережень за 7 років що склало 78 пар. Було виконано розрахунок різних видів апроксимацій: лінійної, ступеневої, другого, третього ступеня, логарифмічної, експоненціальної (табл. 1); розраховано рівняння регресії; визначено коефіцієнт детермінації; розраховано апроксимацію для максимальних та мінімальних обсягів виробництва, були побудовані лінії тренду.

Таблиця 1

Кореляційний та регресійний аналіз даних залежності виробництва цементу та питомих норм за роки досліджень

Вид апроксимації	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації
лінійна	$y = -31,153x + 150,79$	$R^2 = 0,572$
ступенева 1-го ступеня	$y = 114,22x^{-0,7966}$	$R^2 = 0,5736$
ступенева 2-го ступеня	$y = 7,5393x^2 - 70,229x + 185,64$	$R^2 = 0,6803$
ступенева 3-го ступеня	$y = -0,5606x^3 + 12,555x^2 - 81,943x + 192,67$	$R^2 = 0,6814$
логарифмічна	$y = -61,35 \ln(x) + 119,91$	$R^2 = 0,6551$
експоненціальна	$y = 174,2e^{-0,4185x}$	$R^2 = 0,536$

Як свідчать дані досліджень, найбільш тісний зв'язок встановлено між питомою нормою використання технічної води і обсягом виробництва для ступеневої залежності третього ступеня ( $R^2=0,68$ ), яка представлена на рис. 6.

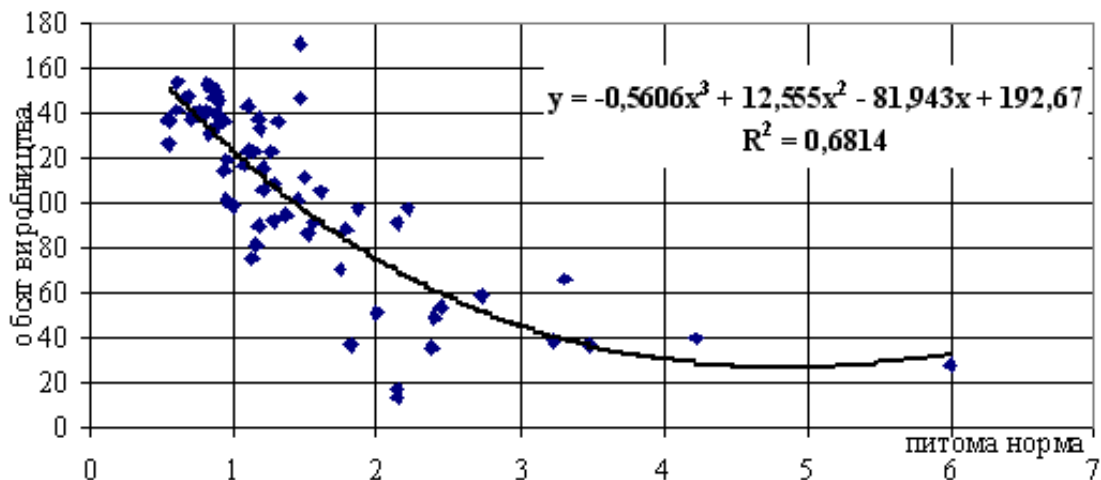


Рис. 6. Характер зв'язку між обсягом виробництва та питомою нормою

Таким чином, була проведена кількісна оцінка можливого використання очищеного поверхневого стоку для підживлення системи оборотного водопостачання та запропонована технологічна схема підготовки вод, які збираються з території підприємства, для повторного використання в системі оборотного водопостачання. Впровадження такого заходу дозволить, з одного боку, частково, а іноді значною мірою, вирішити проблему підготовки живильної води для оборотної системи водопостачання промислового підприємства, покращити експлуатацію оборотної системи, а з іншого, знизити антропогенне навантаження на басейн річки Устя внаслідок припинення скиду забруднених вод з території підприємства та зменшення обсягів відбору свіжої води. Отримані результати представлені у вигляді рекомендацій для впровадження на підприємстві ПАТ «Волинь-цемент».

За результатами досліджень для ПАТ «Волинь-цемент» було обґрунтовано норми споживання технічної води залежно від обсягів виробництва. Встановлено, що питома норма використання технічної води знаходиться у тісному зв'язку з обсягом виробництва цементу. Отримані результати мають практичну цінність, так як підтверджують необхідність корегування питомої норми в промисловості при можливих змінах технологічних процесів, а також при зміні обсягів виробництва, забезпечуючи раціональне використання води та її економію при розширенні виробництва.

1. Современные проблемы поверхностного стока в Украине. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов (Сб. научн. трудов XII междунар. научно-технич. конф.) / [под ред. С. В. Разметаева, В. Ф. Костенко]: В 3-х т. – Харьков, 2004. – 712 с. (591–593с.)
2. Гришко Т. Є. Проблема підготування технічної води в умовах ВАТ «Єнакіївський металургійний завод». / Т. Є. Гришко, А. І. Панасенко Донецький національний технічний університет. Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів // Збірка доповідей XXI Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів. – Т. 1. – Донецьк : ДонНТУ, ДонНУ, 2011. – 97–98с.
3. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти зі зворотними водами, затверджена наказом Мінприроди України від 15.12.1994 р. – № 116.
4. Орлов В. О. Удосконалення технологічної схеми водопостачання на ПАТ «Волинь-цемент» / В. О. Орлов, Л. А. Волкова, Л. Л. Литвиненко // Звіт по господарсько-договірній темі № 3-112. – Ч. 2. – Рівне : НУВГП, 2010. – 59 с.
5. Орлов В. О. Раціональне використання водних ресурсів на цементних заводах. / В. О. Орлов,



Л. А. Волкова, Л. Л. Литвиненко // Materiály VII mezinárodní vědecko –praktická konference «Moderní vymoženosti vědi - 2011» / (27.01.2011 – 05.02.2011). – Díl 14. Ekologie. Chemie a chemická technologie. Zemědělství. Zvěrolékařství: Praha. Publishing House «Education and» s.r.o. – St. 28–32.

6. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности, СЭВ, ВНИИ ВОДГЕО. – М. : Стройиздат, 1982. – 527 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Орлов В. О. (НУВГП)

**Volkova L. A., Litvinenko L. L.** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

### **WAYS OF OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL WATER**

On the basis of undertaken studies the chart of taking and cleaning of superficial flow and possibility of his use is offered for the sign-up of the circulating water of enterprise system. Clarification of actual norm of water consumption is conducted on the basis of currently-statistical method. It has a theoretical and practical value, because assists the rational, economically reasonable use of water resources at the possible changes of technological processes and at the change of production volumes.

**Keywords: circulating water systems, a thundershower water, rational use of water resources, specific norm of water consumption, water-supply of industrial enterprises.**

**Волкова Л. А., Литвиненко Л. Л.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

На основе проведенных исследований предложена схема отведения и очистки поверхностного стока и возможности его использования для подпитки оборотной системы водоснабжения предприятия. Используя отчетно-статистический метод проведено уточнение фактической нормы водопотребления имеет теоретическое и практическое значение, так как способствует рациональному, экономически обоснованному использованию водных ресурсов при возможных изменениях технологических процессов, а также при изменении объемов производства.

**Ключевые слова: оборотные системы водоснабжения, ливневые воды, рациональное использование водных ресурсов, удельная норма водопотребления, водоснабжение промышленных предприятий.**