

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ  
УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА  
УПРАВЛІННЯ**

**ПРОСКУРНІН ОЛЕГ АСКОЛЬДОВИЧ**



УДК 504.4.054

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО  
НОРМУВАННЯ СКИДУ ЗВОРОТНИХ ВОД ДО РІЧКОВОЇ СИСТЕМИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

**Київ – 2021**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в науково-дослідній установі «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
**Чумаченко Сергій Миколайович**,  
Національний університет харчових технологій,  
завідувач кафедри інформаційних систем

доктор технічних наук, професор,  
**Андронов Володимир Анатолійович**,  
Національний університет цивільного захисту  
України, проректор з наукової роботи

доктор технічних наук, професор,  
**Мальований Мирослав Степанович**,  
Інститут сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола  
Національного університету «Львівська  
політехніка», завідувач кафедри екології та  
збалансованого природокористування

Захист відбудеться "27" вересня 2021 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2 та на сайті [www.dea.edu.ua](http://www.dea.edu.ua).

Автореферат розіслано « 26 » серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.880.01  
д.техн.н., доцент



О.В. Луньова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним з пріоритетних напрямків охорони довкілля є нормування природокористування. В економічно розвинутих країнах найважливішим завданням визначено управління екологічною безпекою використання водних ресурсів на підставі упорядкування відведення зворотних вод (ЗВ) в річкові системи. Для цього розробляються і затверджуються гранично допустимі скиди (ГДС) забруднюючих речовин із зворотними водами підприємств-водокористувачів. Метою встановлення даних нормативів є збереження й відновлення водних об'єктів (ВО).

Існуюча науково-методологічна база розрахунку ГДС в Україні не забезпечує екологічну безпеку скидання ЗВ. Так, за даними державного моніторингу річкових басейнів невідповідність якості води чинним санітарно-гігієнічним вимогам складає більш ніж 60 %. Особливо ситуація загострюється на малих річках з невеликою асимілюючою спроможністю.

В Україні в основі екологічного нормування скидів ЗВ лежить безпосередній розрахунок маси речовини, скидання якої не призводить до перевищення встановлених нормативів якості природної води. Згідно з європейськими принципами управління річковими басейнами та вітчизняним законодавством, з метою визначення й прогнозування комплексної оцінки впливу техногенного забруднення на ВО розрахунок ГДС повинен проводитися за басейновим принципом одночасного для усіх випусків, що розташовані на ділянці річкової системи.

Невирішеною науковою проблемою залишається невизначеність розрахункових ділянок при реалізації басейного принципу розрахунку ГДС, невідповідність існуючого оптимізаційного підходу до розрахунку ГДС сучасним виробничим та економічним умовам, а також неврахування імовірнісного характеру факторів впливу підприємств-водокористувачів на стан ВО. Зокрема відсутня методологія обґрунтування ступеня відповідності наявних або прогнозованих екологічних умов водовідведення шляхом оцінювання екологічного ризику. Крім того, потребують вдосконалення математичні моделі трансформації забруднюючих речовин у воді ВО та формування якості води ВО у зоні впливу скидання зворотних вод при неповному розбавленні, які є складовими методологічної бази екологічного нормування.

Всебічний аналіз і врахування означених факторів концентрується на вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми з удосконалення науково-методологічної бази екологічного нормування скидів ЗВ до річкових систем. Розв'язання цієї задачі з урахуванням європейського досвіду та економічних і географічних особливостей України підвищить ефективність управління екологічною безпекою на рівні річкових басейнів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до Водного кодексу України, Законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про основні напрями державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» в лабораторії проблем формування та регулювання якості вод науково-дослідної установи

«Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» у рамках держбюджетних НДР: «Перегляд Інструкції про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами» (0115U004540), «Розроблення проекту Інструкції про порядок розробки та затвердження регламентів періодичного скиди зворотних вод у водні об'єкти» (0115U004539), «Перегляд правил охорони поверхневих вод України від Забруднення і засмічення, затверджених постановою Кабінету міністрів України» (0115U004555).

**Метою роботи** є розвиток наукових засад екологічного нормування скидів зворотних вод у річкову систему, що сприятиме зниженню негативних наслідків техногенного впливу підприємств-водокористувачів.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні задачі:

- провести аналіз законодавчої та науково-методологічної бази нормування скидів ЗВ і розробити концепцію встановлення допустимих скидів;
- науково обґрунтувати поділення річкової системи на локальні ділянки і встановлення відповідних регіональних басейнових нормативів якості річкової води;
- удосконалити оптимізаційний метод визначення допустимих скидів ЗВ за критеріями максимально допустимого техногенного навантаження на водний об'єкт та мінімальних витрат на водоочищення;
- удосконалити оптимізаційний метод визначення допустимих скидів теплообмінних ЗВ з урахуванням особливості їх скидання, що пов'язано з доцільністю їх повторного використання;
- розробити наукові засади встановлення допустимих скидів ЗВ оптимізаційним методом, виходячи з екологічних критеріїв якості поверхневих вод на основі бальної (індексної) системи показників, а також з використанням інтегральних (в просторовому розумінні) і комплексних показників якості води;
- розробити методологію визначення допустимих скидів зворотних вод шляхом оцінки екологічного ризику;
- удосконалити математичну модель формування якості води ВО у зоні впливу скидання ЗВ при неповному розбавленні;
- удосконалити математичну модель послідовної трансформації забруднюючих речовин шляхом врахування фонові забрудненості водного об'єкту, а також втрат речовини у трансформаційному ланцюжку;
- розрахувати оцінку економічного ефекту від впровадження розробленої методології екологічного нормування скидів зворотних вод;
- розробити рекомендації по коригуванню водозахисного законодавства з нормування скидів зворотних вод.

**Об'єкт дослідження** – процес забруднення річкових систем зворотними водами.

**Предмет дослідження** – екологічне нормування скидів зворотних вод, що надходять у річкові системи.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження ґрунтуються на принципах сучасного наукового пізнання, логічного та системного аналізу, теорії ієрархічних систем. Вирішення задач виконане за допомогою методів лінійного

програмування, диференціального числення, методів математичної статистики (зокрема методу статистичних випробувань Монте-Карло), методу математичної індукції, комп'ютерного моделювання.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:**

***Уперше:***

– науково обґрунтовано і розроблено методологію підвищення рівня екологічної безпеки скидання ЗВ до водних об'єктів, яка, на відміну від існуючих підходів, передбачає поділення річкової системи на послідовні локальні ділянки і розрахунок відповідних регіональних басейнових нормативів якості води, що забезпечує рівномірне техногенне навантаження на річкову систему;

– науково обґрунтовано і розроблено методологію екологічного нормування скидів ЗВ, яка, на відміну від існуючої, базується на оцінці екологічного ризику, обумовленого імовірністю надмірного забруднення водоприймача в зоні впливу скидання; це дозволить враховувати імовірнісний характер факторів техногенного впливу на якість поверхневих вод;

– науково обґрунтовано і розроблено оптимізаційний метод розрахунку допустимих скидів ЗВ, який відрізняється використанням бальної (індексної) системи показників якості поверхневих вод, що дає можливість визначати допустимі скиди зворотних вод, виходячи з екологічних нормативів якості природних вод;

– науково обґрунтовано і розроблено методологію екологічного нормування скидів ЗВ, яка, на відміну від існуючої, передбачає використання інтегральних (в просторовому розумінні) показників стану водних об'єктів, що підвищить рівень екологічної безпеки малих річок з низькою асимілюючою спроможністю.

***Удосконалено:***

– оптимізаційний метод екологічного нормування скидів теплообмінних ЗВ, який, на відміну від існуючого, передбачає варіювання обсягом зворотних вод замість варіювання їх складом; це дозволить враховувати реальні виробничі умови, які передбачають доцільність повторного використання теплообмінних ЗВ;

– оптимізаційний метод екологічного нормування скидів ЗВ, який, на відміну від існуючого, враховує капітальні витрати на будівництво і реконструкцію очисних споруд та можливе керування процесом очищення, що дозволить розширити простір прийняття рішень при пошуку оптимуму, а також враховує стохастичної залежності між концентраціями забруднюючих речовин після очищення, що дозволить отримувати технологічно досяжний результат розрахунку ГДС;

– математичну модель формування якості води ВО при неповному розбавленні зворотних вод, яка відрізняється серед інших аналогів врахуванням обсягу домішки в окілї точки максимальної забрудненості, що дозволить проводити більш достовірні розрахунки якості річкової води в зоні впливу підприємств-водокористувачів і, тим самим, сприятиме підвищенню рівня

екологічної безпеки водокористування при малій кратності розбавлення зворотних вод.

**Набула подальшого розвитку** математична модель процесу послідовної трансформації речовин у водному об'єкті, яка відрізняється від існуючої врахуванням природної фонової забрудненості, а також можливих втрат речовини в трансформаційному ланцюжку. Це сприятиме запобіганню надмірного забруднення поверхневих вод речовинами–продуктами трансформації.

**Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:**

– Результати дисертаційних досліджень є науковою основою для удосконалення водоохоронного законодавства з регулювання скидів зворотних вод у річкові системи, що сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки водокористування.

– Розроблений метод встановлення регіональних басейнових нормативів якості води дозволяє здійснювати рівномірне антропогенне навантаження на річкову систему під час скидання зворотних вод, як підґрунтя сталого розвитку країни.

– Удосконалена оптимізаційна задача з нормування скидів за рахунок включення до неї капітальних витрат на водоочищення та можливе керування процесами очищення дозволять мінімізувати загальні витрати на реалізацію водоохоронних програм в межах визначених ділянок річкових систем.

– Удосконалений математичний апарат прогнозування якості поверхневих вод дозволяє підвищити ефективність управління екологічною безпекою при малих кратностях розбавлення зворотних вод, а також за наявності трансформації забруднюючих речовин у водному об'єкті.

– Удосконалений оптимізаційний підхід дозволяє визначати оптимальні параметри роботи очисних споруд під час їх проектування або реконструкції.

Результати роботи були використані: при визначенні оптимальних параметрів двоступінчастого біологічного очищення в аеротенках-відстійниках (біореакторах) ПП «Оліяр» з метою забезпечення екологічно безпечного водовідведення в р. Ставчанка (Львівська область, басейн р. Дністер); для встановлення оптимальних режимів водовідведення комунального підприємства «Харківводоканал»; у навчальному процесі Луганського національного аграрного університету в рамках дисципліни «Нормування техногенного навантаження на навколишнє середовище».

**Особистий внесок здобувача.** Авторіві належить постановка та обґрунтування науково-прикладної проблеми підвищення рівня екологічної безпеки скидання зворотних вод у водні об'єкти; вироблення концепції встановлення допустимих скидів зворотних вод; удосконалення оптимізаційного методу визначення допустимого скиду зворотних вод; розробка методології нормування скидів зворотних вод на основі оцінки екологічного ризику та урахування стохастичної залежності показників якості води; удосконалення способу визначення максимально забрудненої частини потоку річкової води; розробка рекомендацій щодо коригування водоохоронного законодавства.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на: VII, VIII, IX Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» (Запоріжжя – 2011, 2012, 2013); VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (Алушта – 2011, 2012, 2013; Харків – 2014, 2015, 2016, 2017, 2018); I, II Міжвузівських науково-методичних конференціях «Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях» (Харків – 2012, 2013); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (Харків – 2015), XVIII, XIX Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологія, енерго- та ресурсозберігання, охорона навколишнього середовища та здоров'я людини, утилізація відходів» (Щолкіно – 2010, 2011), 14-й, 15-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Екологія, охорона навколишнього природного середовища та збалансоване природокористування: освіта-наука-виробництво» (Харків – 2010, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України» (Київ – 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «Водні ресурси України та меліорація земель» (Київ – 2013), Форумі «Інтегроване управління водними ресурсами» (Київ – 2013), Заочній конференції «Казантип-ЕКО-2014. Екологія, енерго- та ресурсозбереження, охорона навколишнього середовища та здоров'я людини, утилізація відходів», Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню води (Київ – 2014), Щорічній науково-практичній конференції Луганського національного аграрного університету (Харків – 2015, 2016, 2017), Всеукраїнських наукових Талійських читань (Харків – 2014), VI Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (Харків – 2014), V Міжнародному конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів – 2018).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано у 39 друкованих роботах, серед яких: 8 – в виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, та у періодичних наукових виданнях інших держав, 22 статті у фахових виданнях МОН України, 9 – тези доповідей у матеріалах вітчизняних і міжнародних конференцій.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Робота викладена на 357 сторінках, що містять 285 сторінок основного тексту, 38 рисунків, 88 таблиць, 2 з яких займають повністю сторінки. У списку джерел 277 найменування.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність виконання роботи, її зв'язок з науковими програмами та планами, сформульовано мету й завдання досліджень, наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, наведено загальну характеристику роботи, особистий внесок автора, повноту

апробації здобутих результатів і коротко викладено основні положення дисертації.

**У першому розділі** наведені результати досліджень, які свідчать, що одним з головних чинників наднормативної забрудненості поверхневих водних об'єктів є скидання до них зворотних вод, що потребує удосконалення науково-методологічної бази екологічного нормування скидів. Проаналізовано законодавчі й методологічні основи нормування скидів зворотних вод в Україні, країнах Європи, США та пострадянських країнах (РФ і Білорусі). На підставі проведеного аналізу запропоновано концепцію встановлення допустимих скидів зворотних вод.

Показано, що в Україні екологічне нормування скидів ЗВ здійснюється за басейновим принципом, який припускає комплексний розрахунок допустимих скидів ЗВ для ділянки басейну річки. Наведено детальний аналіз двох існуючих способів вирішення задачі екологічного нормування: на основі рівномірного використання асимілюючої здатності водного об'єкта між водокористувачами, а також шляхом розв'язання оптимізаційної задачі. Наведений аналіз висвітив недоліки обох способів. Перший спосіб не враховує трансформацію забруднюючих речовин у ВО, а також реальні можливості систем очищення ЗВ, що призводить до технологічно недосяжного результату. Оптимізаційний підхід, де критерієм оптимальності є мінімум загальних витрат на водоочищення, і який був розроблений ще в СРСР, в існуючому вигляді важко реалізувати через неврахування ринкових відносин між водокористувачами. Крім того, існуюча методологічна база не забезпечує рівномірне техногенне навантаження на ВО з боку водокористувачів на великих ділянках річкових систем.

Аналіз закордонного досвіду управління екологічною безпекою показав, що в європейських країнах і США визначення допустимих скидів ЗВ здійснюється на основі існуючих технологій очищення. Подібний підхід до екологічного нормування прийнятий також у Білорусі. При цьому, відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС, європейське водоохоронне законодавство рекомендує країнам враховувати специфіку держави при розробці національних правових норм в галузі управління екологічною безпекою.

У розділі наведені аргументи на користь того, що в умовах сучасної України з екологічних та економічних позицій недоцільно здійснювати нормування скидів ЗВ, виходячи з параметрів технологій очищення. Це викликане як економічними обставинами, так і географічними особливостями країни (значний, у порівнянні з більшістю європейських країн, розмір території, та відносно мале забезпечення водними ресурсами).

Проведений аналіз вітчизняного та закордонного досвіду вирішення цієї проблеми показав необхідність удосконалення науково-методологічної основи екологічного нормування скидів ЗВ з урахуванням як європейського досвіду, так і економічних та географічних особливостей України. При цьому варто широко використовувати досвід закордонних і вітчизняних вчених, які зробили великий внесок у створення наукових засад нормування водовідведення: N.A.



Jaworski, S.L. Klementson, J.C. Leibman, Г.О. Сухорукова, Є.В. Єременко, О.К. Кузіна, В.Р. Лозанського, М.С. Коваленка, С.В. Муравйова, В.Н. Кенса, Ю.І. Капаніної.

У розділі обґрунтована наукова концепція екологічного нормування скидів ЗВ, що припускає:

- поділення басейну річки на локальні ділянки при розрахунку ГДС та встановлення відповідних регіональних басейнових нормативів якості поверхневих вод для забезпечення рівномірного техногенного навантаження на річкову систему;
- розробку методології визначення допустимих скидів зворотних вод шляхом оцінки екологічного ризику;
- удосконалення оптимізаційного підходу до визначення допустимих скидів ЗВ, що полягає в урахуванні капітальних витрат на реконструкцію та будівництво очисних споруд, можливого регулювання процесу очищення зворотних вод, специфіки скидання теплообмінних зворотних вод та стохастичної залежності між концентраціями забруднюючих речовин після очищення.

Крім того, потребують удосконалення математичні моделі, які є складовою методологічної бази екологічного нормування скидів:

- матрична модель послідовної трансформації (удосконалення потрібне у плані врахування фонові забрудненості водного об'єкта, а також втрат речовини у трансформаційному ланцюжку);
- модель формування якості води ВО у зоні впливу скиду зворотних вод при неповному розбавленні через розрахунок кратності розбавлення ЗВ (удосконалення потрібне у плані підвищення рівності адекватності моделі при малих кратностях розбавлення ЗВ).

Удосконалена методологія нормування скидів зворотних вод за вищевказаними напрямками дозволить забезпечити екологічну безпеку відведення ЗВ до річкової системи.

**У другому розділі** наведено розроблені науково-методологічні основи забезпечення екологічної безпеки скидання зворотних вод для випадку повного їх розбавлення, а також описана удосконалена модель послідовної трансформації забруднюючих речовин у ВО для вирішення завдання недопущення наднормативного забруднення поверхневих вод речовинами-продуктами трансформації.

Удосконалена модель трансформації враховує природне фонове забруднення річкової води, яке викликане специфічними для кожної місцевості умовами, а також можливу втрату речовини при переході з однієї форми в іншу.

Модель будується на наступних припущеннях:

- зниження концентрації кожної речовини відбувається до природного рівня забрудненості, у загальному випадку відмінного від нуля;
- швидкість як розкладання речовини, так і її поповнення за рахунок розкладання попередньої речовини у трансформаційному ланцюжку, прямо пропорційна відповідним концентраціям.

На основі обох припущень складено систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} d(y_1 - C_{np,1}) = -k_1 \cdot (y_1 - C_{np,1}) \cdot dt \\ d(y_j - C_{np,j}) = -k_j \cdot (y_j - C_{np,j}) \cdot dt + p_{j-1} \cdot (y_{j-1} - C_{np,j-1}) \cdot dt, j = 2,3,4 \end{cases} \quad (1)$$

де  $j$  – індекс речовини в трансформаційному ланцюжку;  $y$  – концентрація речовини у воді;  $C_{np}$  – природна фонова концентрація;  $p$  – коефіцієнт переходу попередньої речовини в наступну;  $k$  – коефіцієнт розкладання речовини.

Розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) дає наступну матричну модель трансформації для використання у задачах екологічного нормування:

$$C(t) = A(t) \cdot C_0 + C_{np} \quad (2)$$

де  $t$  – час, доба;  $C(t)$  – вектор концентрацій речовин у момент часу  $t$ , мг/дм<sup>3</sup>;  $C_0$  – вектор початкових концентрацій, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{np}$  – вектор природних концентрацій речовин, мг/дм<sup>3</sup>;  $A(t)$  – матриця трансформації, 1/добу.

Для трансформації азотовмісних речовин (попереднє перетворення азоту органічного в амонійний, нітритний і нітратний) елементи матриці  $A$  знаходяться за формулами:

$$\begin{aligned} a_{jj} &= \exp(k_j \cdot t), j = 1 \div 4, \\ a_{31} &= g(1,1,2) \cdot f(3,1,3), a_{32} = f(2,2,3), \\ a_{41} &= g(1,1,2) \cdot \{g(2,1,3) \cdot [f(3,1,3) - f(3,3,4)] - g(2,2,3) \cdot [f(3,2,4) - f(3,3,4)]\}, \\ a_{42} &= g(2,2,3) \cdot [f(3,2,4) - f(3,3,4)], \\ a_{43} &= f(3,3,4), \\ b_j &= C_{npj} - \sum_{i=1}^j a_{ij} \cdot C_{npi}, j = 1 \div 4, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $g(j,i,l) = p_j / (k_i - k_l)$ ;  $f(j,i,l) = g(j,i,l) \cdot [\exp(k_i \cdot t) - \exp(k_l \cdot t)]$ .

Параметри моделі трансформації або знаходяться емпіричним шляхом на основі дослідження конкретного ВО, або обираються приблизно за довідковими даними.

При розв'язанні задачі екологічного нормування скидів за басейновим принципом була отримана наступна формула для розрахунку концентрацій речовин у нижньому за течією контрольному створі (КС) з урахуванням трансформації (нумерація КС за течією знизу у верх):

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n \cdot \frac{Q_{n+1} \cdot A_{n+1} \cdot C_{n+1} + W_n}{Q_n + q_n} + \sum_{j=2}^{n-1} \left[ \prod_{i=2}^{n-1} (Q_i + k_{ij} z_i) \right] A_2 \cdot \dots \cdot A_{j-1} \cdot W_j}{\prod_{i=1}^{n-1} (Q_i + q_i)} = \\ &= \frac{Q_2 \cdot \dots \cdot Q_{n+1} \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_{n+1} \cdot C_{n+1} + \sum_{j=2}^n \left[ \prod_{i=2}^n (Q_i + k_{ij} z_i) \right] A_2 \cdot \dots \cdot A_{j-1} \cdot W_j}{\prod_{i=1}^n (Q_i + z_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $A_i$ ,  $W_i$  – відповідно матриця трансформації та вектор маси речовин, що надходять від різних джерел на ділянці між  $i$ -м та  $(i+1)$ -м створами;  $Q_i$  – витрата річкової води в  $i$ -му КС, м<sup>3</sup>/с;  $z$  – забір річкової води на ділянці, м<sup>3</sup>/с;  $k_{ij}$  – символ Кронекера.

У розділі описуються два можливі оптимізаційні підходи до забезпечення екологічної безпеки скидання ЗВ: за критерієм максимального техногенного навантаження на ВО, що не призводить до наднормативної забрудненості ВО, та за критерієм мінімуму витрат на водоочищення. В першому випадку функція мети у модифікованій оптимізаційній задачі наступна:

$$Z = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \sum_{j=1}^n \mu_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $i$  – індекс випуску ЗВ;  $j$  – індекс забруднюючої речовини;  $n$  – кількість забруднюючих речовин;  $m$  – кількість випусків;  $x$  – шукана концентрація речовини у ЗВ, мг/дм<sup>3</sup>;  $\mu$  – ваговий коефіцієнт «значущості» відповідної речовини для конкретного випуску (для розчиненого кисню  $\mu < 0$ ).

Вагові коефіцієнти  $\mu$  залежать від різних факторів: ГДК речовини, вартості очищення ЗВ і т.п.

Обмеження оптимізаційної задачі забезпечують недопущення наднормативного забруднення ВО та принцип непогіршення якості поверхневих вод, що склалася:

$$\begin{cases} y_{kj} \leq ГДК_j, j = 1 \div n, k = 1 \div K; \\ x_{ij} \leq C_{ij}^{факт}, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ x_{ij} \geq ГДК_j, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ \sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} = q_i, i = 1 \div m; \end{cases} \quad (6)$$

де  $k$ ,  $K$  – відповідно індекс та кількість КС;  $C^{факт}$  – фактична концентрація речовини у ЗВ, мг/дм<sup>3</sup>;  $y$  – розрахункова концентрація речовини у КС, мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрації речовин на виході з очисних споруд можуть знаходитись в стохастичній залежності. У цьому випадку між концентраціями потрібно визначати регресійну залежність  $x_i = x_i(x_j)$ .

Якщо розглядається лише один випуск ЗВ, то у такому випадку будується імовірнісна функція  $y_i = y_i(x_j)$ , і концентрація незалежної  $j$ -ї речовини (регресора) знаходиться шляхом розв'язання рівняння

$$\int_{-\infty}^{ГДК_i} f_{y_i}(x_j, y_i) dy_i = 1 - \alpha, \quad (7)$$

де  $f_{y_l}$  – щільність розподілу випадкової величини  $y_l$ ;  $\alpha$  – допустимий рівень ризику перевищення ГДК.

Концентрація залежної  $l$ -ї речовини (відгука) знаходиться шляхом підстановки концентрації  $x_j$  у регресійну залежність  $x_l = x_l(x_j)$ .

При розрахунках за басейновим принципом задачу екологічного нормування потрібно розв'язувати оптимізаційним методом. Тоді кількість змінних, які оптимізуються, зменшиться, а система обмежень буде мати наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{kj} \leq ГДК_j, j = 1 \div n_j, k = 1 \div K; \\ P(y_{kl} \leq ГДК_l) \leq 1 - \alpha, l = 1 \div L, k = 1 \div K; \\ x_{ij} \leq C_{ij}^{\phi_{akm}}, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ \langle x_{il} \rangle \leq C_{il}^{\phi_{akm}}, l = 1 \div L, i = 1 \div m; \\ x_{ij} \geq ГДК_j, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ \langle x_{il} \rangle \geq ГДК_l, l = 1 \div L, i = 1 \div m; \\ \sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} = q_i, i = 1 \div m; \end{array} \right. \quad (8)$$

де  $P$  – позначення ймовірності;  $\langle \rangle$  – позначення математичного очікування;  $j, n_j$  – відповідно індекс та кількість речовин, концентрації яких у ЗВ після очищення не знаходяться в регресійній залежності з іншими концентраціями, а при її наявності є регресорами;  $l, L$  – відповідно індекс та кількість речовин, концентрації яких у ЗВ після очищення знаходяться в регресійній залежності з іншими концентраціями як відгуки;  $\alpha$  – допустимий рівень ризику.

Також вказується, що оптимізація за критерієм максимуму техногенного навантаження недостатньо враховує реальні можливості очисних споруд. Тому такий спосіб розрахунку ГДС рекомендується застосовувати при реконструкції очисних споруд для знаходження їхніх параметрів, які потім будуть покладені у технічне завдання.

Другий можливий варіант оптимізаційного підходу до екологічного нормування, що рекомендується як основний при управлінні екологічною безпекою водовідведення, полягає у мінімізації витрат на водоочищення. При цьому розглядаються можливі технологічні маршрути потоку ЗВ при очищенні. Однак оптимізуючими змінними у запропонованій задачі виступають не тільки витрати води, що проходять за кожним маршрутом очищення, але й концентрації на виході, коли процес очищення може бути керованим (як, наприклад, у випадку хімічного очищення), а також у випадку альтернативних (тобто на момент розв'язання задачі неіснуючих) маршрутів очищення. Крім експлуатаційних, враховуються також капітальні витрати на будівництво або

реконструкцію очисних споруд. Таким чином, функція мети в оптимізаційній задачі при відсутності випусків теплообмінних ЗВ має вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} \left( f_e(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\}) + \frac{f_{kan}(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\})}{31536000 \cdot T_{ir}} \right) \rightarrow \min, \quad (9)$$

де  $f_e, f_{kan}$  – відповідно експлуатаційні (грн/м<sup>3</sup>) та капітальні (тис. грн) витрати на очищення;  $r$  – індекс технологічного маршруту;  $R_i$  – кількість технологічних маршрутів;  $T_r$  – термін експлуатації очисних споруд на відповідному маршруті, років.

Концентрація  $j$ -речовини у зворотній воді випуску  $i$  знаходиться за формулою:

$$x_{ij} = \frac{\sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} \cdot x_{irj}}{\sum_{r=1}^{R_i} q_{ir}} \quad (10)$$

При екологічному нормуванні скидів до ВО теплообмінних вод запропоновано вихідні концентрації вважати константами (як збільшення до забрудненості природної води на підставі статистичного аналізу даних за останні місяці), а варіювати тільки витратою води. Тобто замість водоочищення зменшити обсяг відведення у водотік теплообмінної води, та спрямувати її на повторне (наприклад, оборотне) використання, що більш характерно для реального виробництва.

Таким чином, при знаходженні ГДС для теплообмінної води функція мети приймає наступний вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^{U_i} \left( f_e(\{q_{iu}\}) + \frac{f_{kan}(\{q_{iu}\})}{31536000 \cdot T_{iu}} \right) \rightarrow \min, \quad (11)$$

де  $q_{iu}$  – обсяг теплообмінної води, що йде на повторне використання;  $u$  – індекс випуску теплообмінної води;  $U_i$  – кількість випусків теплообмінної води на  $i$ -му підприємстві;  $f_e, f_{kan}$  – відповідно експлуатаційні (грн/м<sup>3</sup>) та капітальні (тис. грн) витрати на забезпечення повторного використання води, грн/м<sup>3</sup>;  $T_{iu}$  – термін експлуатації системи повторного використання води, років.

Обмеження задачі визначаються вимогою дотримання балансу ЗВ, а також неперевищенням ГДК забруднюючих речовин у контрольному створі ВО:

$$\begin{cases} y_{kj} \leq ГДК_j, j = 1 \div n_j, k = 1 \div K; \\ q_{iu} \leq q_i, u = 1 \div U_i; \\ q_{iu} \geq 0, u = 1 \div U_i. \end{cases} \quad (12)$$

У розділі відзначено, що при екологічному нормуванні скидів ЗВ можуть враховуватися комплексні показники якості води та інтегральні показники стану ВО. Перші представляються функцією:

$$P = P(\{y_j\}), \quad (13)$$

де  $\{y_j\}$  – множина концентрацій забруднюючих речовин в обраному пункті контролю.

У цьому випадку в системі обмежень (6) замість першого блоку нерівностей ставиться:

$$P_k \leq P_{кр}, k = 1 \div K, \quad (14)$$

де  $P_k$  – значення комплексного показника в  $k$ -му КС;  $P_{кр}$  – критичне допустиме значення комплексного показника.

Аналогічним чином можуть бути використані інтегральні показники стану ВО (у просторовому розумінні, на відміну від інтегральних показників якості води типу БСК, ХСК і т.п.):

$$E = E(\{y_k\}), \quad (15)$$

де  $\{y_k\}$  – множина концентрацій конкретної забруднюючої речовини в різних пунктах контролю (ПК).

При використанні інтегральних показників доцільно для пунктів контролю встановлювати вагові коефіцієнти, що характеризують їх значущість. Тоді інтегральний показник має вигляд:

$$E = \sum_{j=1}^n w_j \cdot y_j, \quad (16)$$

де  $w_j$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го ПК;  $n$  – кількість ПК.

При відсутності законодавчих інструкцій щодо встановлення вагових коефіцієнтів доцільно користуватися експертними висновками. Для об'єктивної перевірки ступеня узгодженості експертних суджень розроблено наступний алгоритм, що базується на статистичному аналізі.

Якщо  $x_{ij}$  – ранг, який наданий  $i$ -м експертом ( $i = 1, \dots, m$ ) стосовно значущості  $j$ -го ПК,  $R$  – кількість можливих рангів, то контрольною величиною при перевірці гіпотези про узгодженість експертних суджень буде коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (17)$$

де  $S$  – величина, що розраховується за формулою

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (R + 1) \right)^2 \quad (18)$$

Позитивний висновок про узгодженість експертних суджень робиться за виконання умови:

$$m \cdot (n - 1) \cdot W > \chi_{кр}^2, \quad (19)$$

де  $\chi_{кр}^2$  – квантіль розподілу  $\chi^2$  зі ступеню свободи  $n - 1$ .

На кінцевому етапі вагові коефіцієнти визначаються за формулами:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{m}, \quad (20)$$

$$w_i = \frac{Z_i}{\sum_{k=1}^n Z_k}. \quad (21)$$

Якщо умова (19) не виконується (тобто якщо судження експертів виявляються неузгодженими), завдання призначення вагових коефіцієнтів повторно ставиться перед експертами.

При використанні інтегральних показників стану ВО в задачах екологічного нормування до системи обмежень (6) замість першого блоку нерівностей записується умова:

$$E_j \leq E_{кр}, \quad j = 1 \div n, \quad (22)$$

де  $E_{кр}$  – критично допустиме значення інтегрального показника стану ВО.

У розділі наведено оптимізаційний метод екологічного нормування при використанні бальної (індексної) оцінки якості природної води. Як приклад, була обрана «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями». Методика припускає класифікацію показників якості поверхневих вод за трьома групами: за сольовим складом, за еколого-санітарними показниками та за токсичними й радіаційними показниками.

Кожна класифікація поділяє якість води за діапазонами концентрацій забруднюючих компонентів на 7 категорій. Інтегральний індекс якості річкової води обчислюється за формулою:

$$I_{\Sigma} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} I_j^k}{K}, \quad (23)$$

де  $k, K$  – відповідно індекс та кількість груп показників (в даному випадку  $K = 3$ );  $N_k$  – кількість розглянутих речовин, що входять у групу  $k$ ;  $I_j^k$  – категорії якості води.

Для постановки оптимізаційної задачі щодо забезпечення екологічної безпеки скидання ЗВ була зроблена формалізація розрахунку інтегрального індексу  $I_{\Sigma}$ . Нехай  $\{a_i\}$ ,  $i = 1 \div n$ , – границі діапазонів (мг/дм<sup>3</sup>), що відповідають категоріям якості від 1 до  $n$  (у даному випадку  $n = 6$ ). Далі вводиться до розгляду функція:

$$S(C) = \sum_{i=1}^{n-1} \text{sign}(C - a_i), \quad (24)$$

де  $C$  – концентрація речовини, мг/дм<sup>3</sup>.

Тоді для кожної групи речовин буде мати місце:

$$I_k(\{C_i\}) = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} \left( \frac{S(C_i)}{2} + \frac{n+1}{2} \right) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} S(C_i) + \frac{n+1}{2}. \quad (25)$$

Остаточно перша група обмежень у (6) записується у вигляді:

$$I_{\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{k=1}^K I_k = \frac{n+1}{6} + \frac{1}{6} \cdot \sum_{k=1}^K \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} S(C_i) \leq I_{\text{кр}}, \quad (26)$$

Таким чином, у загальному випадку функція мети в оптимізаційній задачі щодо розрахунку ГДС має вигляд:

$$\begin{aligned} Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} \left( f_e(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\}) + \frac{f_{\text{кан}}(\{x_{irj}\}, \{q_{ir}\})}{31536000 \cdot T_{ir}} \right) + \\ & + \sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^{U_i} \left( g_e(\{q_{iu}\}) + \frac{g_{\text{кан}}(\{q_{iu}\})}{31536000 \cdot T_{iu}} \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (27)$$

А обмеження оптимізаційної задачі в загальному випадку наступні:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_k(\{x_{kj}\}) \leq \Phi_{\text{кр}}, j = 1 \div n, k = 1 \div K; \\ x_{ij} \leq C_{ij}^{\text{факт}}, j = 1 \div n, j \neq l; i = 1 \div m; \\ x_{il} \geq C_{il}^{\text{факт}}, i = 1 \div m; \\ x_{ij} \geq X_{ij}, j = 1 \div n, j \neq l; i = 1 \div m; \\ \sum_{r=1}^{R_i} q_{ir} = q_i, i = 1 \div m; \\ q_{iu} \leq q_i, u = 1 \div U_i; \\ q_{iu} \geq 0, u = 1 \div U_i. \end{array} \right. \quad (28)$$



де  $\Phi_k(x_{ij})$  – розрахункове значення якості води ВО в  $k$ -му КС;  $\Phi_{кр}$  – критичне значення якості води ВО;  $j, n$  – відповідно індекс та кількість забруднюючих речовин;  $l$  – порядковий номер розчиненого кисню;  $i, k$  – індекси відповідно випуску ЗВ та КС;  $X_{ij}$  – мінімально можливе значення показника в ЗВ, яке визначається технологічними можливостями очисних споруд.

За функцію  $\Phi$  обирають: при невикористанні інтегральних показників стану ВО та комплексних показників якості – розрахункові концентрації в КС, при розгляданні інтегральних показників стану ВО – функцію  $P$ ; при розгляданні комплексних показників якості – функцію  $E$ .

Остаточно для кожного  $i$ -го випуску ЗВ нормативом на скид  $j$ -ї забруднюючої речовини буде перемноження знайдених при розв'язанні оптимізаційної задачі концентрації речовини на витрату ЗВ:

$$ГДС_{ij} = x_{ij} \cdot q_i. \quad (29)$$

У третьому розділі розглядається специфіка екологічного нормування скидів зворотних вод у випадку неповного їх розбавлення річковою водою. Також наведено удосконалення математичного апарату стосовно визначення максимально забрудненої частини потоку води.

Вказується, що на теперішній час в методологію визначення концентрації речовини в залежності від кратності розбавлення ЗВ в обраній точці ВО покладено так званий «принцип суперпозиції» (за аналогією зі складанням векторних полів у фізиці). Однак якщо ігнорується обсяг забруднюючої речовини в окілї обраній точці, то в результаті розрахунку концентрація речовини у даній точці ВО може перевищувати концентрацію кожного із джерел, що неможливо теоретично.

Удосконалення моделі полягає в розширенні окілу максимально забрудненої точки, що розглядається, за рахунок розбавлених зворотних вод з декількох джерел. Відповідне балансове рівняння має вигляд:

$$C_{КС} \cdot (v_\phi + \sum v_i) = M_\phi + \sum M_i, \quad (30)$$

де  $C_{КС}$  – середня по окілу концентрація ЗВ, мг/дм<sup>3</sup>;  $M_\phi$  – маса, що обумовлена фоновим забрудненням водотоку, мг/с;  $M_i$  – маса ЗВ, що надходить в водотік від  $i$ -го джерела, мг/с;  $v_\phi, v_i$  – відповідно обсяг природної води та обсяг ЗВ від  $i$ -го джерела в розглянутому окілу.

У цьому випадку концентрація  $C_{КС}$  виражається в такий спосіб:

$$C_{КС} = \frac{C_\phi + \sum_i^m \frac{C_i}{n_i - 1}}{1 + \sum_i^m \frac{1}{n_i - 1}}. \quad (31)$$

де  $C_\phi$ ,  $C_i$  – відповідно фонові концентрації речовини у природній воді та концентрації у ЗВ  $i$ -го випуску, мг/дм<sup>3</sup>;  $n_i$  – кратність розбавлення ЗВ  $i$ -го випуску водою водотоку.

На рис. 1 наведено приклад розрахунку концентрації ЗВ у контрольній точці при наявності двох випусків ЗВ. Розрахунок передбачає єдину концентрацію забруднюючої речовини у ЗВ обох випусків на рівні 10 мг/дм<sup>3</sup>, відсутність фонового забруднення (тобто  $C_\phi = 0$ ) та фіксовану кратність розбавлення ЗВ першого випуску на рівні  $n_1 = 10$ . За змінну обирають кратність розбавлення ЗВ другого випуску  $n_2$ .

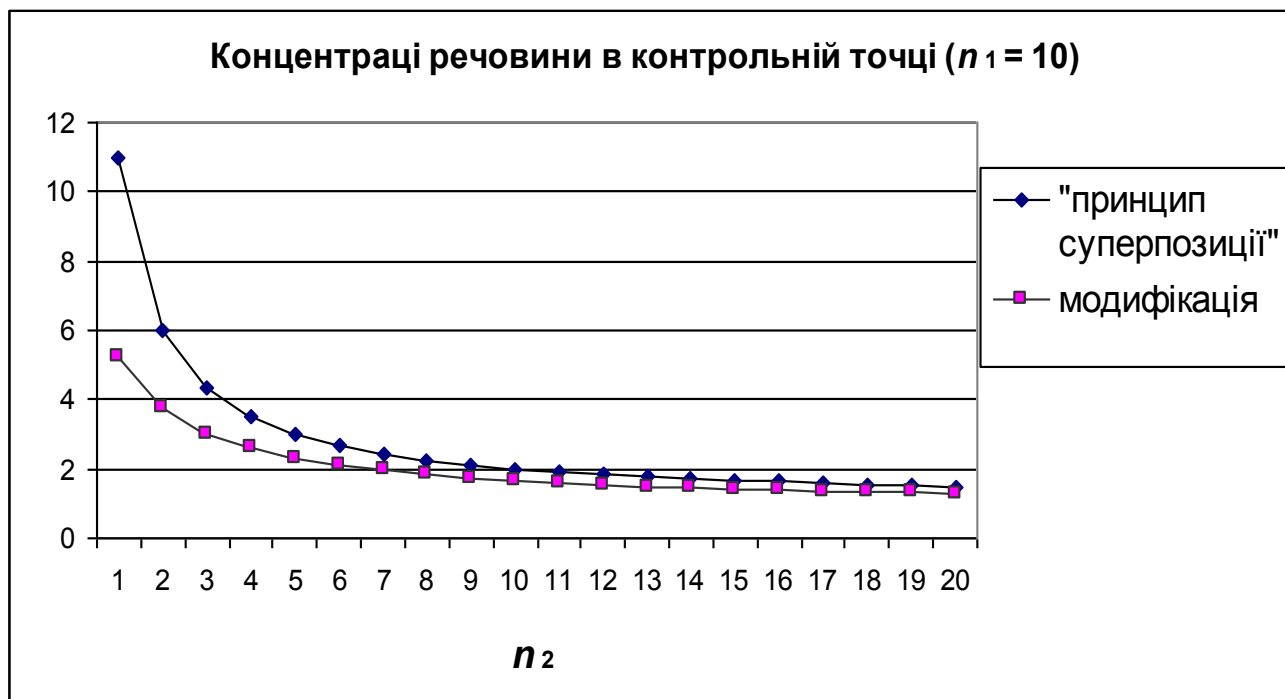


Рис. 1. Результат розрахунку концентрації речовини в контрольній точці

Як видно з рис. 1, «принцип суперпозиції» призводить до того, що концентрація речовини в контрольній точці може перевищувати 10 мг/дм<sup>3</sup>. У той час як удосконалений метод не призводить до фізично неправдоподібного результату. При великих кратностях розбавлення результати розрахунку обома методами асимптотично зближуються. Таким чином, удосконалений метод розрахунку є більш адекватним фізичному процесу.

У розділі вказується специфіка екологічного нормування при неповному розбавленні ЗВ водою ВО. Якщо екологічне нормування здійснюється за оптимізаційним методом, зміни в постановці задачі стосуються першого блоку обмежень (6). У лівій частині нерівностей замість середніх концентрацій у КС необхідно записати максимальні:

$$y_j^{max} \leq ГДК_j, j = 1 \div n. \quad (32)$$

У випадку, коли оптимізація здійснюється по критерію максимуму техногенного навантаження, то крім аналогічної зміни в системі обмежень, функцію мети (5) необхідно доповнити коефіцієнтом впливу випусків на максимально забруднену частину потоку води:

$$Z = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \mu_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (33)$$

де  $a_{ij}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го випуску за  $j$ -м показником.

Коефіцієнти впливу розраховуються за формулою:

$$a_j^i = \frac{y_j^{\max} - y_{j-i}^{\max}}{y_j^{\max}}, \quad (34)$$

де  $y_{j-i}^{\max}$  – розрахункова концентрація речовини в максимально забрудненій частині потоку води в КС при виключенні  $i$ -го випуску, мг/дм<sup>3</sup>.

У розділі аналізується доцільність у задачах екологічного нормування проведення розрахунку кратності розбавлення для малих та середніх річок. Дана проблема впливає з наявності загальних проблем екологічного прогнозування, основні з яких наступні:

1. Множинність моделей, коли для вивчення однакових аспектів екосистеми можуть використовуватися різні математичні моделі, що мають рівні права на використання, але які призводять до істотно різних результатів.
2. Принципова неможливість виміру ряду параметрів з високою точністю.
3. Неповнота знань про механізм функціонування екосистем.

В силу цього високі стандарти точності в екологічному прогнозуванні недосяжні. З цієї обставини був зроблений висновок, що для малих та середніх річок розрахована якість води в максимально забрудненій частині потоку може відрізнятися від середньої менш, ніж погрішність розрахунку. Критерієм доцільності розрахунку розбавлення слугує виконання наступної умови:

$$\sqrt{\frac{V}{H}} > \frac{166.4 \cdot \sqrt{g \cdot \nu \cdot l}}{S \cdot B^2}, \quad (35)$$

де  $V$  – швидкість потоку води, м/с;  $H$  – глибина, м;  $l$  – відстань до КС, м;  $B$  – ширина річки в КС, м;  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості води, м<sup>2</sup>/с;  $S$  – коефіцієнт Шезі,  $\sqrt{м}/с$ .

Умова (35) означає, що, відповідно до розрахунку методом Таллінського політехнічного інституту (який заснований на аналітичному розв'язанні рівняння турбулентної дифузії і є одним з базових у задачах екологічного нормування скидів), менш ніж 20 % маси речовини, що надходить у водотік зі ЗВ, теоретично виходить за межі берегів.

У четвертому розділі науково обґрунтовано та розроблено методологію використання оцінки екологічного ризику при встановленні допустимих скидів зворотних вод, як підзадачі управління екологічною безпекою.

У задачах нормування скидів ЗВ за екологічний ризик доцільно прийняти імовірність перевищення в КС допустимої концентрації речовини:

$$R = P(y(x) > ГДК), \quad (36)$$

де  $P$  – позначення імовірності;  $x$ ,  $y$  – концентрація забруднюючої речовини відповідно у ЗВ та у КС.

З урахуванням непостійного характеру відведення ЗВ, концентрації  $x$  та  $y$  розглядаються як випадкові величини. Задача зводиться до знаходження середньої концентрації  $C_{ГДС}$  (математичного очікування величини  $x$ ), при якій буде виконуватися нерівність:

$$P(y(C_{ГДС}) \leq ГДК) \geq 1 - \alpha, \quad (37)$$

де  $\alpha$  – прийнятий допустимий рівень ризику.

Коли концентрація речовини розподілена за нормальним законом, то шукана концентрація  $C_{ГДС}$  знаходиться із рівняння:

$$\frac{1}{B\sqrt{2\pi} \cdot C_{ГДС} \cdot \nu} \cdot \int_{-\infty}^{ГДК} \exp \left[ - \frac{\left( y - \frac{C_{фон} \cdot Q_{фон}}{Q} - \frac{q}{Q} \cdot C_{ГДС} \right)^2}{2 \cdot B^2 \cdot C_{ГДС}^2 \cdot \nu^2} \right] dy = 1 - \alpha, \quad (38)$$

де  $C_{фон}$  – концентрація речовини у фоновому створі (ФС) вище випуску, мг/дм<sup>3</sup>;  $Q_{фон}$  – витрата водотоку у ФС, м<sup>3</sup>/с;  $q$ ,  $Q$  – відповідно витрата ЗВ і витрата води в КС, м<sup>3</sup>/с;  $\nu$  – коефіцієнт варіації концентрації у ЗВ.

У розділі також наведено методику оцінки екологічного ризику, який базується на методі Монте-Карло. Він відноситься до непараметричних методів статистичного аналізу, тому його доцільно використовувати у випадку довільного закону розподілу випадкових величин. З цією метою концентрація речовини у випуску ЗВ шляхом обробки вибірки даних натурних спостережень  $\{C_i\}$  представляється функцією від рівномірно розподіленої на відрізьку  $[0,1]$  випадкової величини  $w$ . Це дозволяє концентрацію речовини в контрольному створі у також розглядати як функцію  $y = y(w)$ .

Шляхом багаторазового генерування величини  $w$  здійснюється розподіл величини  $y$ , за яким розраховуються границі довірчого інтервалу і робиться висновок про імовірність перевищення ГДК.

Якщо при фактичному скиданні розрахований екологічний ризик перевищує допустимий, то визначається середня величина концентрації  $x_c$ , при

якій екологічний ризик буде дорівнюватися допустимому. При відсутності інформації про закон розподілу концентрацій при середньому значенні  $x_c$  слід прийняти незмінність коефіцієнта варіації концентрації речовини у ЗВ. Тоді елементи вибірки  $\{x_i\}$  для оцінки екологічного ризику методом Монте-Карло знаходяться за формулою:

$$x_i = x_c + \frac{x_c}{C_c} \cdot (C_i - C_c), \quad (39)$$

де  $C_i, x_i$  – елементи вибірки концентрацій забруднюючої речовини відповідно при фактичному скиданні та при прогнозованому, якщо середня концентрація буде дорівнювати  $x_c$ ;  $C_c$  – середнє значення вибірки  $\{C_i\}$ .

На рис. 2 наведений алгоритм пошуку допустимої концентрації  $C_{ГДС}$  шляхом оцінки екологічного ризику за методом Монте-Карло.

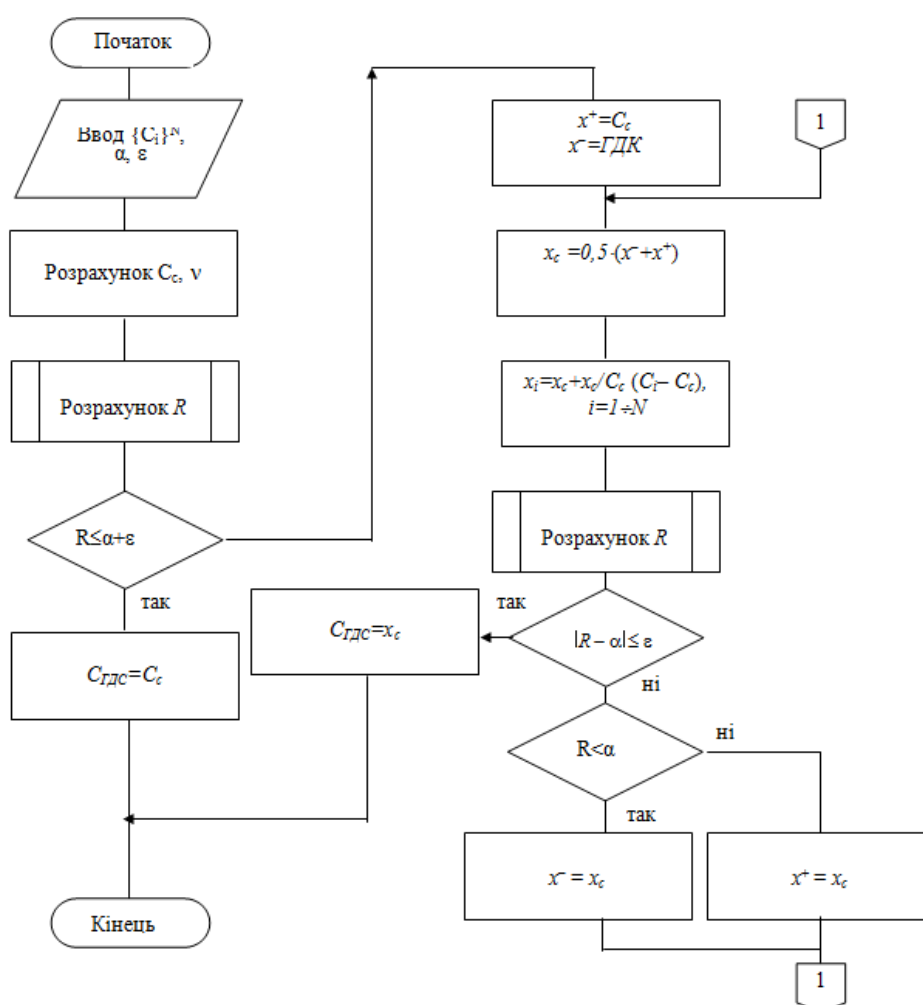


Рис. 2. Алгоритм розрахунку допустимої концентрації забруднюючої речовини у ЗВ шляхом оцінки екологічного ризику за методом Монте-Карло ( $\alpha$  – припустимий ризик;  $\epsilon$  – погрішність розрахунку)

Після розрахунку допустимої концентрації норматив на скид розраховується як її перемноження на витрату ЗВ.

Екологічне нормування скидів ЗВ шляхом оцінки екологічного ризику рекомендується проводити для підприємств підвищеної екологічної небезпеки для речовин 1-го та 2-го класів небезпеки.

**У п'ятому розділі** теоретично обґрунтовано доцільність декомпозиції задачі екологічного нормування скидів ЗВ шляхом поділення басейну річки на локальні ділянки та встановлення регіональних басейнових нормативів якості природної води для забезпечення рівномірного техногенного навантаження на річкову систему.

Наведені фактори, за якими пропонується проводити поділення басейну річки на локальні ділянки: просторовий розподіл техногенного навантаження, зміна фізико-географічної зони та адміністративні межі.

Поділення басейну річки на локальні ділянки вимагає введення регіональних басейнових нормативів якості води з метою здійснення рівномірного техногенного навантаження на річкову систему. Визначення регіональних басейнових нормативів якості природної води здійснюється окремо для кожної речовини. Загальна ідея розв'язання даної задачі полягає в наступному. Розглядається укрупнена схема басейну річки з узагальненими випусками (рис. 3), тобто усі випуски, які розташовані на ділянці, умовно збираються в один. Як узагальнений випуск може бути обраний великий приток; у цьому випадку величина  $M$  – це маса речовини, що проходить в одиницю часу через гирловий створ притоку. У нижній точці кожної ділянки призначається контрольний створ локальної ділянки (КСЛД).

Далі вирішується задача знаходження максимально допустимих валових мас  $M$ , що не призводять до перевищення ГДК у кожному КСЛД. При цьому необхідно враховувати наступну обставину: якщо робиться зниження валових мас з метою неперевикнення ГДК у якому-небудь негирловому КСЛД <sub>$j$</sub>  (тобто  $j < N$ ), то після цього автоматично знижується концентрація розглянутої речовини у всіх КСЛД, розташованих нижче КСЛД <sub>$j$</sub> . Таким чином, з'являється ресурс для збільшення навантаження на нижніх ділянках, що потребує вже не зменшення, а збільшення валових мас.

Розрахунок допустимих валових мас, як це прийнято при екологічному нормуванні водовідведення, повинен розроблятися виходячи з фактичного стану забруднення, під яким доцільно приймати осереднену величину за останні роки. При цьому варто виключати нетипові періоди (аварії, тимчасові простой підприємств, відхилення від технологічного режиму тощо). За гідрологічні умови розрахунку приймається мінімальна середньомісячна витрата води основної річки на рівні 90 % забезпеченості.

Розрахунок необхідно здійснювати окремо для літнього та зимового сезонів.

Остаточні шукані нормативи якості річкової води – це розрахункові концентрації речовин у КСЛД, що відповідають знайденим допустимим валовим масам  $M$ .

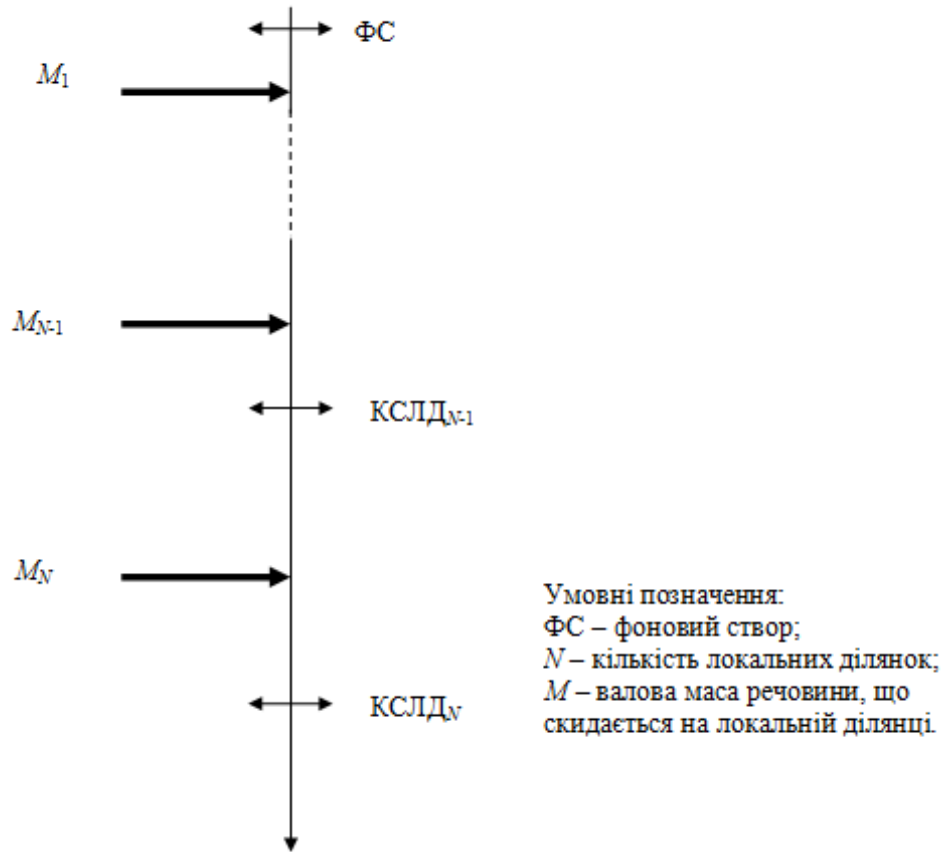


Рис. 3. Схема розташування узагальнених випусків і КСЛД

Для формалізації вищеописаного механізму пошуку допустимих валових мас і наступного визначення шуканих нормативів введено у розгляд наступні математичні об'єкти:

- $\{M\}^l$  – множина валових мас, що відводяться в басейн річки з верхньої (1-ї) до  $l$ -ї ділянки включно;
- $\{M\}_l$  – множина валових мас, що відводяться в басейн річки з  $l$ -ї ділянки до гирлової ( $N$ -ї) включно;
- $C_l$  – розрахункова концентрація речовини в КСЛД $_l$ ;
- $L(\{M\}^l)$  – процедура зниження валових мас  $\{M\}^l$  з метою досягнення  $C_l \leq \text{ГДК}$ ;
- $V(\{M\}_l)$  – процедура збільшення валових мас  $\{M\}_l$  до рівня, що не призводить до перевищення ГДК у всіх КСЛД, розташованих нижче КСЛД $_l$ .

У термінології функціонального аналізу  $C_j$  – це функціонал, що відображає множину валових мас на шкалу концентрацій;  $L$ ,  $V$  – оператори, що відображають множину валових мас на еквівалентну множину.

Представляючи валову масу на кожній ділянці  $d$  як добуток усередненої концентрації на валову витрату ЗВ і зневажаючи трансформацією речовин у межах локальної ділянки, одержуємо:

$$M_d = \sum_{i=1}^m [(C_i - C_{np}) \cdot \exp(-\beta \cdot t_i) + C_{np}] \cdot q_i, \quad (40)$$

де  $d$  – індекс ділянки;  $\beta$  – коефіцієнт неконсервативності (самоочищення) речовини, 1/добу;  $C_i, C_{np}$  – відповідно концентрація речовини у випуску  $i$  та природна концентрація у річковій воді, мг/дм<sup>3</sup>;  $t_i$  – час переміщення води від  $i$ -го випуску до КСЛД <sub>$d$</sub> , діб;  $m$  – кількість випусків на ділянці  $i$ .

Оператор  $L(\{M\}^l)$  працює за наступною схемою. Для кожної локальної ділянки визначаються коефіцієнти впливу:

$$a_d = \exp(-\beta \cdot t_d), \quad (41)$$

де  $t_d$  – час переміщення води від КСЛД <sub>$d$</sub>  до КСЛД <sub>$l$</sub> , діб.

Виходячи з прийнятого в європейських країнах підходу, вводиться в розгляд інтегральний коефіцієнт ефективності очисних споруд, що дорівнює:

$$b_d = \sum_{i=1}^m \frac{(\delta_n - \delta_i)}{\delta_n}, \quad (42)$$

де  $\delta_i$  – ступінь очищення ЗВ за розглянутим показником на  $i$ -ом підприємстві;  $\delta_n$  – ступінь очищення ЗВ, що відповідає найкращим доступним технологіям.

Далі ставиться задача знаходження мас  $\tilde{M}$ , що входять у балансове рівняння з урахованням процесів самоочищення

$$\begin{aligned} & M_\phi \cdot \exp(-\beta \cdot t_\phi) + C_{np} \cdot q_\phi \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot t_\phi)) + \\ & + \sum_{d=1}^l \tilde{M}_d \cdot a_d + C_{np} \cdot \sum_{d=1}^l q_d \cdot (1 - a_d) = Q_l \cdot ГДК, \end{aligned} \quad (43)$$

де  $M_\phi$  – маса забруднюючої речовини в фоновому створі, мг/с;  $t_\phi$  – час переміщення води від фонового створу до гирлового створу, діб.

З врахуванням коефіцієнтів впливу  $a_d$  та інтегральних коефіцієнтів  $b_d$  шукані маси записуються у вигляді:

$$\tilde{M}_d = M_d \cdot (2 - a_d b_d) \cdot k, \quad (44)$$

де  $k$  – невідомий коефіцієнт, що підлягає визначенню.

Підставляючи (44) у (43), маємо:

$$\begin{aligned} & M_\phi \cdot \exp(-\beta \cdot t_\phi) + C_{np} \cdot q_\phi \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot t_\phi)) + \\ & + \sum_{d=1}^l M_d \cdot (2 - a_d b_d) \cdot k \cdot a_d + C_{np} \cdot \sum_{d=1}^l q_d \cdot (1 - a_d) = Q_l \cdot ГДК \end{aligned} \quad (45)$$



Остаточно:

$$k = \frac{Q_i \cdot \text{ГДК} - M_\phi \cdot \exp(-\beta \cdot t_\phi) - C_{np} \cdot q_\phi \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot t_\phi)) - C_{np} \cdot \sum_{d=1}^l q_d \cdot (1 - a_d)}{\sum_{d=1}^l M_d \cdot (2 - a_d b_d) \cdot a_d}. \quad (46)$$

Якщо на ділянці має місце рівняння:

$$\delta_n = \delta_d, \quad (47)$$

тоді встановлюється:

$$\tilde{M}_d = M_d. \quad (48)$$

Таким чином, формули (44) і (46) дозволяють одержати нові значення валових мас, що забезпечать неперевищення ГДК у контрольних створах.

При роботі оператора  $V(\{M\}^l)$  враховується ступінь зниження валових мас на попередньому етапі (внаслідок роботи оператора  $L$ ) щодо фактичного рівня. Тому шукані величини мають вид:

$$\tilde{M}_d = M_d \cdot (1 + k \cdot \mu_d), \quad (49)$$

де  $k$  – невідомий коефіцієнт, що підлягає визначенню;  $\mu_d$  – кратність зниження маси на ділянці  $d$  в результаті роботи оператора  $L$ .

Балансове рівняння в цьому випадку буде наступним:

$$M_\phi \cdot \exp(-\beta \cdot t_\phi) + C_{np} \cdot q_\phi \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot t_\phi)) + \sum_{d=1}^{Nl} \tilde{M}_d \cdot a_d + C_{np} \cdot \sum_{d=1}^N q_d \cdot (1 - a_d) = Q_N \cdot \text{ГДК} \quad (50)$$

Після виконання арифметичних дій, аналогічні описаним вище, маємо:

$$k = \frac{Q_N \cdot \text{ГДК} - M_\phi \cdot \exp(-\beta \cdot t_\phi) - C_{np} \cdot q_\phi \cdot (1 - \exp(-\beta \cdot t_\phi))}{\sum_{d=1}^N M_d \cdot \mu_d} - \frac{\sum_{d=1}^N M_d \cdot a_d - C_{np} \cdot \sum_{d=1}^N q_d \cdot (1 - a_d)}{\sum_{d=1}^N M_d \cdot \mu_d}. \quad (51)$$

Таким чином, оператор  $V$  дозволяє збільшити значення валових мас, які не

будуть перевищувати початкові (фактичні) значення і не призведуть до порушення задовільного стану річкової води у контрольних створах.

Після поділення басейну річки на локальні ділянки й встановлення відповідних нормативів якості річкової води розрахунок ГДС речовин робиться на кожній ділянці окремо та одночасно для всіх підприємств-водокористувачів.

Грошовий внесок кожного водокористувача на локальній ділянці на будівництво й реконструкцію очисних споруд повинен бути пропорційним масі забруднюючих речовин, що скидаються:

$$S_i = p \cdot \sum_{j=1}^{N_i} \eta_j \cdot M_{ij}, \quad (52)$$

де  $S_i$  – грошовий внесок кожного  $i$ -го водокористувача, грн;  $\eta_j$  – ваговий коефіцієнт, що враховує вартість очищення  $j$ -ї речовини;  $M_{ij}$  – маса  $j$ -ї речовини у ЗВ  $i$ -го водокористувача, мг/с;  $N_i$  – кількість забруднюючих речовин у складі зворотних вод  $i$ -го водокористувача;  $p$  – коефіцієнт пропорційності, який знаходиться за формулою:

$$p = \frac{S}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} \eta_j \cdot M_{ij}}, \quad (53)$$

де  $S$  – загальна витрата коштів на водоочищення на локальній ділянці, грн.

Таким чином, принцип «кожний сплачує за себе» (відповідно до Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС) залишається в силі.

У розділі наведено модельний розрахунок басейнових регіональних нормативів якості води та екологічних нормативів на скид ЗВ для басейну р. Уди (Харківська обл., басейн Сіверського Донця). За показники забруднення обрані фосфати й азотовмісні речовини.

При розрахунку було розглянуто 28 підприємств, що здійснюють скид ЗВ у басейн р. Уди. Малозначні скиди з точки зору внеску в загальне забруднення не враховувалися.

Басейн р. Уди був поділений на п'ять локальних ділянок. Гідрографічна схема басейну з розміщенням КСЛД представлена на рис. 4. (На схемі наведені тільки річки, зазначені як водоприймачі ЗВ відповідно до звітності 2-ТП (водгосп)).

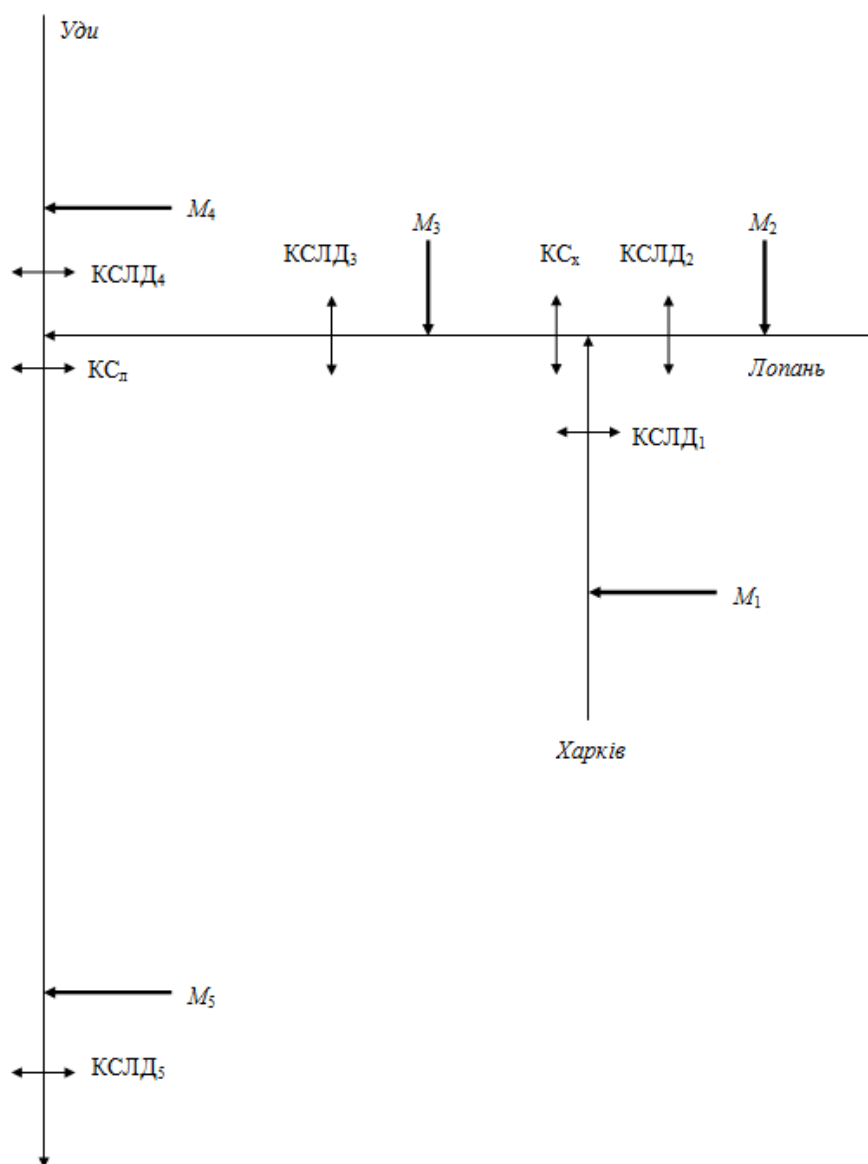


Рис. 4. Гідрографічна схема басейну р. Уди

У табл. 1 наведено фактичні усереднені концентрації речовин в ЗВ.

Таблиця 1 – Дані щодо фактичного скидання речовин у р. Уди

Номер ділянки	Фактична усереднена концентрація у валовому випуску, мг/дм <sup>3</sup>			
	азот амонійний	нітрити	нітрати	фосфати
1	2,50	2,56	39	13,5
2	4,20	2,77	28	3,95
3	2,10	2,40	25	3,39
4	1,60	2,60	36	7,50
5	9,30	3,40	45	8,95

У табл. 2 наведено концентрації в КСЛД при фактичному скиданні.

Таблиця 2 – Розрахункові концентрації забруднюючих речовин у КСЛД при фактичному скиді

Номер КСЛД	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>			
	азот амонійний	нітрити	нітрати	фосфати
1	0,129	0,07	8,39	1,18
2	0,315	<b>0,23</b>	10,7	0,99
3	<b>2,01</b>	<b>2,27</b>	8,54	<b>3,29</b>
4	<b>1,07</b>	<b>1,68</b>	28	<b>5,49</b>
5	<b>1,34</b>	<b>0,99</b>	18,9	<b>4,08</b>
ГДК	1	0,08	40	2,15

Як видно з табл. 2, у ряді КСЛД має місце перевищення ГДК за показниками азот амонійний, нітрити та фосфати, що свідчить про екологічну небезпеку водовідведення.

Допустимі концентрації речовин в узагальнених випусках, які розраховані за допомогою описаного в розділі алгоритму, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Дані щодо концентрація в узагальнених випусках, мг/дм<sup>3</sup>

Номер ділянки	азот амонійний	нітрити	нітрати	фосфати
1	2,50	1,37	39	13,10
2	3,95	0,71	28	2,80
3	1,04	0,08	25	2,20
4	1,51	0,11	36	2,30
5	8,95	3,40	45	8,95

У табл. 4 наведено концентрації речовин в КСЛД при допустимому скиді. Дані концентрації приймаються як регіональні нормативи. Як видно з табл. 4, у всіх КСЛД має місце неперевіщення ГДК, що свідчить про те, що результат розрахунку забезпечує екологічно безпечне скидання ЗВ в басейні р. Уди.

Таблиця 4 – Розраховані значення регіональних нормативів якості річкової води за фосфатами та азотовмісними речовинами (мг/дм<sup>3</sup>)

Номер КСЛД	Фосфати	Азот амонійний	Нітрити	Нітрати
1	1,17	0,13	0,05	8,36
2	0,99	0,32	0,08	10,6
3	2,15	1,00	0,08	8,54
4	2,15	1,00	0,08	26
5	2,15	1,00	0,08	18,9
ГДК	2,15	1,00	0,08	40

Розрахунок ГДС для підприємств був зроблений на прикладі ділянки № 5. У табл. 5 наведені підприємства, що розташовані на даній ділянці, а також фактичний і допустимий склад ЗВ.

Таблиця 5 – Склад ЗВ (фактичний/допустимий) підприємств, розташованих на локальній ділянці №5, а також концентрації речовин у КСЛД<sub>5</sub> (мг/дм<sup>3</sup>)

Код (за 2-тп водгосп)	Назва	Відстань до гирла, км	Азот амонійний	Нітрити	Нітрати	Фосфати
631897	Есхарівське ЖКЕУ-2011	3	4/4	2/2	27/27	3/3
631807	КП «Теплові системи Харківського району»	13	5,2/5,2	2,1/2,1	34/34	3,4/3,4
631381	Темновська виправна колонія №100	38	3,5/3,5	2,4/2,4	22/22	3,9/3,9
630550	Хорошевський геріатричний пансіонат» с.Хорошево	41	7/7	2,5/2,5	12/12	5,2/5,2
630374	Комплекс біологічного очищення «Безлюдівський»	48	1,5/1,35	3,4/2,8	21/12	4,5/3,2
	Річкова вода (КСЛД <sub>5</sub> )		1,0	0,08	18,9	2,15

Як видно з табл. 5, відповідно до розрахунку, має місце обмеження концентрацій речовин у ЗВ комплексу біологічного очищення «Безлюдівський». При тому розраховані допустимі концентрації речовин забезпечують необхідні норми якості річкової води в КС. Тобто запропонована методологія екологічного нормування скидів ЗВ забезпечує неперевищення наднормативного забруднення басейну р. Уди.

У шостому розділі розрахована оцінка економічного ефекту від впровадження дисертаційних досліджень (на прикладі р. Сіверський Донець у межах Харківської області), а також надані рекомендації по коригуванню водоохоронного законодавства у галузі нормування скидів зворотних вод.

Економічний ефект розробленої методології екологічного нормування скидів ЗВ полягає у недопущенні збитку від наднормативного забруднення річкової води. Розрахунок був виконаний за методикою, яка найбільш адекватно підходить до розглянутої ситуації. Відповідно до неї, економічний збиток навколишньому середовищу дорівнює:

$$S = K \cdot K_p \cdot k \cdot \sum_{j=1}^n \gamma_j \cdot W_j, \quad (54)$$

де  $n$  – кількість забруднюючих речовин, для яких має місце наднормативне скидання;  $W_j$  – маса наднормативного скидів  $j$ -ї забруднюючої речовини, т/рік;  $K_p$  – регіональний коефіцієнт дефіцитності водних ресурсів поверхневих вод (для Харківської обл.  $K_p = 1,19$ );  $k$  – коефіцієнт ураженості водної екосистеми ( $k = 1,5$ );  $K$  – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкта ( $K = 1,6$ );  $\gamma_j$  – питомий економічний збиток від забруднення водних ресурсів, віднесений до 1 тонни умовної забруднюючої речовини, грн/т.

Розрахунок був зроблений для ділянки басейну ріки Сів. Донець у границях Харківської області за даними спостережень 2005-2017 років із виключенням 2010 року як нетипового через аномально теплу погоду влітку. За концентрацію  $C$  розглядалися середні багаторічні концентрації основних забруднюючих речовин у пункті контролю нижче м. Ізюм.

Результуюча величина збитку від забруднення басейну р. Сів. Донець склала 1744,5 тис. грн/рік.

З метою підвищення екологічної безпеки водовідведення розроблені наступні рекомендації по коригуванню водозахисного законодавства з нормування скидів зворотних вод:

1. Басейни великих річок необхідно поділяти на локальні ділянки, у межах яких буде проводитись одночасний для всіх підприємств-водокористувачів розрахунок ГДС забруднюючих речовин.

2. При нормуванні скидів ЗВ необхідно використовувати регіональні басейнові нормативи якості поверхневих вод.

3. Для підприємств-водокористувачів необхідно встановлювати нормативи тимчасово погоджених скидів (ТПС) з метою поетапного досягнення встановлених ГДС (як це було до 1999 року).

4. Для підприємств підвищеної екологічної небезпеки запровадити обов'язкову оцінку екологічного ризику, викликаного скиданням зі ЗВ забруднюючих речовин 1-го та 2-го класу небезпеки; як допустимий ризик прийняти величину 5 %.

5. При видачі ліцензій на проведення робіт щодо розрахунку ГДС ввести обов'язкову вимогу наявності у штаті організації кваліфікованих фахівців з водоочищення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій поставлена та вирішена актуальна науково-прикладна проблема – підвищення рівня екологічної безпеки скидання зворотних вод у річкову систему шляхом удосконалення науково-методологічних основ екологічного нормування скидів.

Це завдання вирішується на підставі поділення річкової системи на локальні ділянки з подальшим встановленням відповідних регіональних басейнових нормативів якості поверхневих вод, удосконалення оптимізаційного підходу до визначення допустимих скидів зворотних вод, врахування імовірнісного характеру факторів впливу підприємств-водокористувачів на стан поверхневих вод, а також удосконалення математичного апарату для розрахунку якості річкової води в зоні впливу скидів зворотних вод.

1. За результатами аналізу науково-прикладної проблеми з удосконалення екологічного нормування скидів зворотних вод до річкових систем встановлено, що існуюча законодавча та методологічна база в цієї сфері не забезпечує належний рівень екологічної безпеки водовідведення. Розроблена концепція встановлення нормативів скидів зворотних вод у річкові системи враховує європейський досвід, а також економічні і географічні особливості України (передусім великий розмір території держави).

2. Науково обґрунтовано, що реалізація басейнового принципу екологічного нормування скидів забруднюючих речовин потребує поділення річкової системи на послідовні локальні ділянки, у межах яких скидання повинне нормуватись одночасно для усіх водокористувачів.

3. Розроблено методологію встановлення регіональних басейнових нормативів якості поверхневих вод для забезпечення рівномірного техногенного навантаження на річкову систему.

4. Вдосконалено методологію визначення допустимих скидів зворотних вод за критерієм максимуму техногенного навантаження на водний об'єкт шляхом врахування стохастичних залежностей концентрацій забруднюючих речовин у зворотних водах після очищення.

5. Вдосконалено оптимізаційний метод визначення допустимих скидів зворотних вод за критерієм мінімуму витрат на водоочищення шляхом врахування капітальних витрат на реконструкцію та будівництво очисних споруд, а також можливого регулювання процесу очищення зворотних вод. Крім того, враховано особливості скидання теплообмінних зворотних вод, що пов'язані з доцільністю їх повторного використання.

6. Розроблено оптимізаційний метод визначення допустимих скидів забруднюючих речовин з використанням бальної (індексної) системи нормування якості поверхневих вод, а також з використанням комплексних показників якості води та інтегральних показників стану водного об'єкту.

7. Розроблено методологію визначення допустимих скидів зворотних вод шляхом оцінки екологічного ризику з використанням непараметричних статистичних методів. Оцінку екологічного ризику пропонується проводити для підприємств-водокористувачів підвищеної екологічної небезпеки по забруднюючим речовинам 1-го та 2-го класів небезпеки.

8. Вдосконалено математичну модель послідовної трансформації забруднюючих речовин шляхом врахування природного фонового забруднення, а також можливої втрати речовини у трансформаційному ланцюжку.

9. Вдосконалено математичну модель формування якості води водного об'єкту при неповному розбавленні зворотних вод. Удосконалена модель більш

адекватна фізичному процесу змішування природної та зворотної води, і спрямована на підвищення рівня екологічної безпеки водних об'єктів при малих кратностях розбавлення зворотних вод.

10. Згідно з розробленою методологією проведено розрахунок допустимих скидів зворотних вод в басейні р. Уди (Харківська обл.) за показниками: азот амонійний, нітрити, нітрати й фосфати. Результат розрахунку показав, що запропонована методологія екологічного нормування забезпечує недопущення наднормативного забруднення річкової води.

11. Розраховано оцінку економічного ефекту від впровадження дисертаційних досліджень на прикладі р. Сіверський Донець у межах Харківської області. У цінах 2017 р. він складає 1744,5 тис. грн/рік.

12. Розроблено рекомендації щодо коригування водоохоронного законодавства в галузі екологічного нормування скидів зворотних вод.

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті в виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, та у періодичних наукових виданнях інших держав:*

1. Проскурнин О. А. Нормирование содержания растворенного кислорода в сточных водах, поступающих в водный объект. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 1/4 (21). С. 13-16. (*Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), ResearchBib, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EBSCO.*)

2. Адаменко Н. И., Проскурнин О. А. Уточнение понятия «максимально загрязненная часть потока воды» в задачах расчета допустимого сброса сточных вод в водоток. *ScienceRise* 2015. № 2/2(7). С. 57-61. (*CrossRef, WorldCat, DOAJ, BASE, ResearchBib, DRJI, CiteFactor, OAJI, Ulrich's Periodicals Directory, Scientific Indexing Services, Sherpa/Romeo, Advanced Science Index, General Impact Factor (GIF).*)

3. Проскурнин О. А., Комаристая Б. Н., Смирнова С. А. Расчет индекса загрязнения поверхностных вод в рамках оценки экологической составляющей жизненного цикла продукции. *ScienceRise*. 2015. № 5/2(10). С. 32-36. (*CrossRef, WorldCat, DOAJ, BASE, ResearchBib, DRJI, CiteFactor, OAJI, Ulrich's Periodicals Directory, Scientific Indexing Services, Sherpa/Romeo, Advanced Science Index, General Impact Factor (GIF).*)

4. Проскурнин О. А., Кирпичева И. В., Смирнова С. А. Методика установления региональных нормативов качества поверхностных вод при нормировании антропогенной нагрузки. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 4 (10). С. 24-30. (*Scopus, CrossRef, American Chemical Society, EBSCO, Index Copernicus, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), WorldCat, Electronic Journals Library, DOAJ, ResearchBib, Polska Bibliografia Naukowa, Directory of Research Journals Indexing, Directory Indexing of International Research Journals Open Academic Journals Index, Sherpa/Romeo*)



5. Проскурнин О.А. Нормирование состава сточных вод путем оценки экологического риска/ *Вода и экология: проблемы и решения*. 2013. № 4. С. 65–73.

6. Проскурнин О. А. Нормирование состава сточных вод с учетом стохастической зависимости между концентрациями веществ после очистки. *Водоочистка*. 2014. №1. С. 50-57.

7. Проскурнин О. А., Рыбалова О. В., Смирнова С. А. Использование метода Монте-Карло для оценки экологического риска, вызванного сбросом сточных вод в водоток, с учетом самоочищения воды. *Водные ресурсы и водопользование*. 2015. № 1 (132). С. 26-32.

8. Proskurnin O., Berezenko K., Kurychova I., Honcharenko Y, Jurchenko A. Improvement of the model of transformation of nitrogen-containing substances in a water body for the solution of nature management problem. «*EUREKA: Life Sciences*». 2017. № 3 (9). P. 50-56.

#### *Статті у фахових виданнях МОН України*

9. Проскурнин О.А. Нормирование поступления взаимно трансформирующихся веществ в водный объект со сточными водами. *Науковий вісник будівництва*. 2008. № 46. С. 189-195.

10. Проскурнин О. А. Проблемы экологического прогнозирования при решении задачи нормирования сброса сточных вод в водные объекты. *Коммунальное хозяйство городов. Серия технические науки и архитектура*. 2009. № 86. С.154-159.

11. Проскурнин О.А. Оптимизационный подход к нормированию в сточных водах последовательно трансформирующихся веществ. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2009. №31. С. 124–133.

12. Проскурнин О.А. Проблемы оптимизационного подхода к нормированию состава сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. 2008. № 57. С. 380-383.

13. Проскурнин О.А. Обеспечение технологически достижимого результата расчета допустимого содержания загрязняющих веществ в сточных водах. *Коммунальное хозяйство городов. Серия технические науки и архитектура*. 2010. № 95. С.77– 81.

14. Васенко А. Г., Коробкова А. В., Проскурнин О. А. Использование непараметрических статистических методов при анализе данных мониторинга реки Северский Донец. *Науковий вісник будівництва*. 2012. № 70. С. 451-456.

15. Еременко Е. В., Проскурнин О. А. Оптимизация сброса в водный объект последовательно трансформирующихся веществ со сточными водами. *Коммунальное хозяйство городов. Серия технические науки и архитектура*. 2012. № 105. С. 301-306.

16. Проскурнин О.А. Нормирование сброса последовательно трансформирующихся веществ в водный объект со сточными водами для случая неполного разбавления. *Коммунальное хозяйство городов*. 2012. №103. С. 211–217.

17. Адаменко Н. И., Проскурнин О. А. Проблемы нормирования сброса сточных вод в водные объекты, связанные со спецификой экологического прогнозирования. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2012. № 2(22). С.185-189.
18. Проскурнин О. А. Минимизация затрат на очистку сточных вод в рамках задачи нормирования водоотведения. *Экология и промышленность*. 2013. №3. С.22-26.
19. Проскурнин О. А. Оптимизационный подход к нормированию состава отводимых в водоток сточных вод для случая неполного разбавления. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2012. №34. С. 140-151.
20. Проскурнин О. А. Оптимизационный подход к ограничению содержания веществ в сточных водах с учетом лимитирующих признаков вредности. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2010. №32. С. 162-173.
21. Проскурнин О. А. Разбиение бассейна реки на локальные участки с целью осуществления бассейнового принципа расчета допустимых сбросов сточных вод. *Коммунальное хозяйство городов. Серия технические науки и архитектура*. 2014. № 112. С. 82-87.
22. Проскурнин О. А. Установление региональных нормативов качества природной воды при реализации бассейнового принципа расчета допустимых сбросов сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 2. С. 136-140.
23. Проскурнин О. А., Смирнова С. А. Использование коэффициента конкордации для оценки согласованности экспертных суждений при ранжировании пунктов контроля качества воды водного объекта. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2014. № 36. С. 93–99.
24. Проскурнин О. А. Минимизация общих затрат на очистку сточных вод при нормировании водоотведения. *Екологічні науки*. 2015. №7. С. 65-71.
25. Проскурнин О. А., Смирнова С. А. Использование метода bootstrap для оценки влияния сброса сточных вод на качество воды водного объекта. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2015. № 37. С. 163-171.
26. Проскурнин О. А., Кирпичева И.В., Кононенко А.В., Третьякова Н.В. Расчет концентрации вещества в контрольной точке водного объекта в зоне действия сбросов сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 1. С. 165-169.
27. Проскурнин О. А., Юрченко А. И., Березенко Е. С. Расчет допустимых сбросов возвратных вод в водные объекты с использованием балльной системы нормирования качества поверхностных вод *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 2. С.239-243.
28. Проскурнин О. А., Комаристая Б. Н., Бендюг В. И., Демьянова О. О. Определение экологического риска при оценке влияния жизненного цикла продукта на состояние водных объектов. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 3. С. 177-181.

29. Проскурнин О. А., Ермакович И. А., Березенко Е. С., Кирпичова И. В. Нормирование фармацевтических веществ в коммунальных сточных водах, поступающих в водные объекты. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 2. С. 269-274.

30. Проскурнин О. А., Захарченко Н. И., Капанина О. И. Нормирование состава теплообменных сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 4. С. 226-231.

#### *Тези конференцій*

31. Проскурнин О.А., Капанина О.И. Применение методов оптимизации при расчете допустимого сброса сточных вод в водные объекты. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: тези доповідей V Міжнародного конгреса*, м. Львів, 26–29 вересня 2018 року. Львів, 2018. С. 28-29.

32. Проскурнин О. А. Проблемы нормирования водоотведения сточных вод в водотоки в случае неполного разбавления. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: тези доповідей VIII Міжн. науково-практичної конференції*, м. Алушта, 10-14 вересня 2012 року. Харків, 2012. С. 285-286.

33. Проскурнин О. А., Юрченко А. И. Прогнозирование содержания соединений азота в водотоке с учетом последовательной трансформации и природных фоновых концентраций веществ *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: тези доповідей XII Міжн. науково-практичної конференції*. м. Алушта, 5-9 вересня 2016 року. Харків, 2016. С. 205-207.

34. Кирпичева И. В., Проскурнин О. А., Онипко Т. В., Гончаренко Я. Н., Березенко Е. С. Оценка экономического ущерба от загрязнения реки Северский Донец в границах Харьковской области. Тези доповідей звітної науково-практичної конференції Луганського національного аграрного університету. м. Харків, 21-23 лютого 2017 року. Харків, 2017. С. 211-212.

35. Проскурнин О. А., Демьянова О. О. Расчет концентрации загрязняющего вещества в контрольной точке водного объекта при расчете допустимых сбросов сточных вод. *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Харків, 4 грудня 2015 року. м. Харків, 2015. С. 187-189.

36. Проскурнин О. А., Капанина Ю.И., Капанина О. И. Разбиение бассейна реки на локальные участки при реализации бассейнового принципа нормирования водоотведения. *Водні ресурси України та меліорація земель: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Київ, 22 березня 2013 року. м. Київ, 2013. С. 170-171.

37. Проскурнин О. А. Оптимизационный подход к нормированию водоотведения сточных вод с учетом лимитирующих признаков вредности. *Довкілля для України: тези доповідей Міжнародного екологічного форуму*, м. Київ, 19-20 квітня 2011р. м. Київ, 2011. С. 299-302.

38. Проскурнин О. А., Капанина Ю. И., Капанина О. И. Проблемы оптимизационного подхода к расчету допустимого состава сточных вод. *Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого*

розвитку України: тези доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Запоріжжя, 13 грудня 2012 року. м. Запоріжжя, 2012. С. 60-61.

39. Rybalova O., Proskurnin O., Smirnova S., Belan S.V. Using Monte – Carlo method for assessment of environmental risk caused by wastewater discharges into a watercourse. *Efektivní nástroje moderních věd – 2014: Materiály X Mezinárodní vědecko – praktická konference*, Praha, 27 dubna - 05 května 2014 roku, Praha, 2014. P. 38-44.

## АНОТАЦІЯ

**Проскурнін О.А. Науково-методологічні основи екологічного нормування скиду зворотних вод в річкову систему.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління. Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-прикладної задачі, яка полягає в розробці науково-методологічних основ екологічного нормування скидів зворотних вод у річкову систему з метою підвищення екологічної безпеки водовідведення. На підставі проведеного аналізу розроблена концепція встановлення допустимих скидів зворотних вод в річкову систему, яка враховує як європейський досвід, так і економічні та географічні особливості України.

Ключовим моментом розробленої концепції є необхідність поділення річкової системи на відносно невеликі локальні ділянки та встановлення регіональних басейнових нормативів якості природної води з метою здійснення рівномірного техногенного навантаження на річкову систему.

Була обґрунтована доцільність використання оптимізаційних методів при встановленні нормативів допустимих скидів зворотних вод. При тому були розглянуті два варіанти оптимізаційної задачі: за критерієм максимуму техногенного навантаження на водний об'єкт та за критерієм мінімуму витрат на водоохоронні заходи. Задача оптимізації була ускладнена врахуванням капітальних витрат на будівництво і реконструкцію очисних споруд. Крім того, в протилежність існуючому оптимізаційному підходу, враховувалася регулювання ефективністю очищення зворотних вод.

Запропонована методологія використання інтегральних показників стану водного об'єкту в задачах нормування скидів. Розроблена методологія передбачає встановлення вагових коефіцієнтів для різних пунктів контролю річок експертним шляхом.

Вперше була врахована стохастична залежність концентрацій забруднюючих речовин у зворотних водах після проходження очищення та особливості скидання теплообмінних зворотних вод.

Вперше був розроблений оптимізаційний метод визначення допустимих скидів з використанням екологічних нормативів якості поверхневих вод, що мають вигляд бальної (індексної) системи оцінки. Вперше був розроблений метод розрахунку допустимого складу зворотних вод шляхом оцінки екологічного ризику. Був удосконалений спосіб визначення максимально

забрудненої частини потоку річкової води, а також матрична модель послідовної трансформації забруднюючих речовин на прикладі речовин азотної групи.

Результати дисертаційних досліджень можуть стати науковою основою для удосконалення водоохоронного законодавства щодо регулювання скидань зворотних вод у річкові системи, що, в свою чергу, буде сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки водокористування.

**Ключові слова:** екологічна безпека, річкова система, екологічний ризик, поверхневі води, зворотні води, забруднююча речовина, допустимий скид, екологічне нормування, оптимізація.

## ABSTRACT

**Proskurnin O. Scientific-methodological bases of environmental regulation of discharge wastewater to the river system.** – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis to receive the scientific degree of Doctor of Science 21.06.01 – Environmental Safety. - State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021

The thesis is devoted to the solution of a scientific and applied problem, which is in development of the scientific and methodological basis for the environmental standardization of waste water unset into the river system in order to increase the environmental safety of waste water.

Based on the analysis, a concept is developed for establishing permissible waste water unset into the river system, which takes into account both the European experience and the economic and geographical features of Ukraine.

The key point of the developed concept is the need to divide the river system into relatively small local areas. The division of the river system into sections is made on the basis of the administrative boundaries in the river basin, the level of anthropogenic load and physiographic factors.

The expediency of using optimization methods in setting standards for permissible waste water unset is justified. At the same time, two variants of the optimization task are considered: by the criterion of the maximum anthropogenic load on a water body and by the criterion of the minimum cost of water protection measures. The optimization problem is complicated by taking into account the capital expenditures on the construction and reconstruction of waste water treatment plants. In addition, in contrast to the existing optimization approach, the possibility of controlling the effectiveness of waste water treatment is taken into account. Complications of the objective function and the expansion of the list of optimized variables will allow the decision-making space to be expanded when searching for an optimum in determining allowable unsets of waste water.

The proposed methodology for the use of integral indicators of the state of a water body in problems of normalizing unsets. The developed methodology provides for the establishment of weights for the various points of control of rivers expertly.

For the first time, the stochastic dependence of the concentrations of pollutants in waste water after treatment and feature of heat exchange waters is taken into account.

For the first time, a method is developed for calculating the allowable composition of waste water by assessing environmental risk.

The method of determining the most polluted part of the water flow and matrix model of the sequential transformation of pollutants are improved.

Recommendations are developed on adjusting water protection legislation in the field of rationing of waste water unsets.

The practical significance of the results is as follows. The results of dissertation research can be a scientific basis for improving water protection legislation to regulate waste water unsets into river systems, which, in turn, will contribute to improving the environmental safety of water use. In addition, the research results can be used in determining the optimal parameters of the waste water treatment plant during their design or reconstruction.

**Keywords:** environmental safety, river system, environmental risk, surface water, wastewater, pollutant, limited discharge, ecological normalization, optimization.