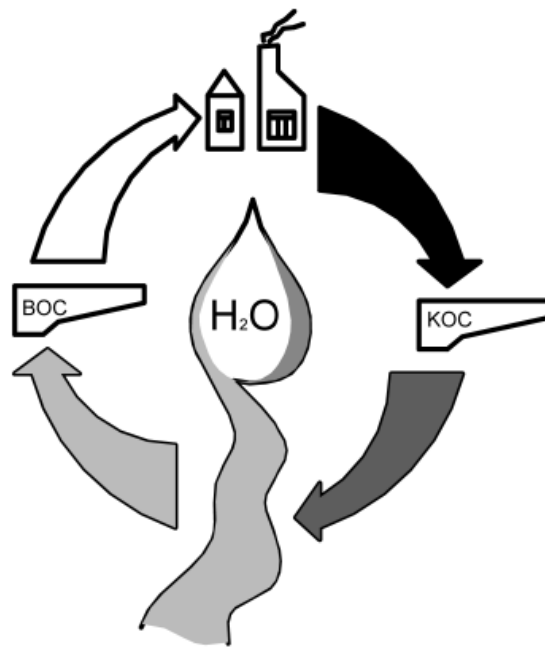


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ГІДРАВЛІКИ



Науково-технічний збірник

Випуск 17

Науково-технічний збірник засновано в 2002 р.

Київ 2011

УДК 628.1+628.2+621.1

Головний редактор **А.М.Тугай**

Заступник головного редактора **А.М. Кравчук**

Відповідальний секретар **В.Ф.Малько**

Заступник відповідального секретаря **Т.В. Аргатенко**

Редакційна колегія:

М.М.Гіроль, Б.М.Ємельянов, Г.М. Кочетов, С.І.Криль, О.Я. Олейник, В.Л. Поляков,
В.Я.Савенко, І.М.Таварткіладзе, В.М.Удод, П.Д.Хоружий, О.М.Яхно

Рекомендовано до випуску вченою радою Київського національного університету
будівництва і архітектури 24 червня 2011 року, протокол №66.

Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник.
Випуск 17. /Головний редактор А.М.Тугай. – К.: КНУБА, 2011. – 120 с.

У збірник включено результати наукових досліджень в галузі водопостачання,
водовідведення, гідравліки.

Розрахований на працівників науково-дослідних і проектних організацій, викладачів,
аспірантів та докторантів.

Матеріали збірника опубліковано на web-сайті Національної академічної бібліотеки України
(www.nbu.gov.ua)

Видається в авторській редакції

Постановою Президії ВАК України науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання,
водовідведення та гідравліки» віднесено до фахових видань, в яких можуть публікуватися
основні результати дисертаційних робіт (Бюлетень ВАК України №5, 2010 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №6033 від 05.04.2002 р.

Адреса редакційної колегії: 03680, Київ, Повітрофлотський проспект, 31,
КНУБА, тел. 241-55-94.

©Київський національний університет будівництва і архітектури, 2011

ЗМІСТ

Ігнатенко О.П. Стан зливової каналізації в Україні та нормативно-правове забезпечення з питань облаштування поверхневого водовідведення	7
Полевий В.І. Практика гідравлічного розрахунку систем поверхневого водовідведення	9
Кривенко Ю.М., Бєлятинський А.О. Особливості потоків малої глибини на поверхні покрить	11
Савенко В.Я., Славінська О.С., Стьошка В.В. Методи визначення параметрів дренажу мілкового залягання на автомобільних дорогах з урахуванням річного циклу роботи	19
Жук В.М. Сучасні системи управління дощовим стоком на забудованих територіях	26
Павлов Є.І., Ліфанов О.М., Ісаєв Д.А. Конструювання розподільних камер на дощовій мережі каналізації	31
Бурачек В.Г., Гладких І.І., Сємака О.М. Особливості вимірювання швидкості та напрямку руху водного потоку в трьохвимірному просторі	35
Зоценко М.Л., Ларцева І.І., Петраш О.В., Іванченко В.Г., Сухоросов І.М. Водонепроникні заповни з ґрунтоцементу, який виготовлюється за бурозмішувальною технологією	39
Таварткіладзе І.М., Юрченко А.М. Розосереджена подача стічних вод на баштові біофільтри	46
Охримюк Б.Ф., Грицина О.О. Удосконалення методики розрахунку аеротенка для підвищення ефективності видалення сполук азоту.	50
Ющенко О.В. Видалення агресивних газів із стічних вод водолікувальниць	56
Коцар О.М., Миронюк Ю.О. Дослідження технології кондиціювання рідкого гною свинокомплексів з метою його утилізації	66
Петренко О.С. Особливості забезпечення умов скиду стічних вод комплексом очисних та водовипускних споруд	72

СОДЕРЖАНИЕ

Ігнатенко О.П. Состояние ливневой канализации в Украине и нормативно-правовое обеспечение обустройства поверхностного водоотведения	7
Полевой В.И. Практика гидравлического расчета систем поверхностного водоотведения	9
Кривенко Ю.Н., Бєлятинский А.А. Особенности потоков малой глубины на поверхности покрытий	11
Савенко В.Я., Славинская А.С., Стьошка В.В. Методы определения параметров дренажа мелкого заложения на автомобильных дорогах с учетом годового цикла работы	19
Жук В.М. Современные системы управления дождевым стоком на застроенных территориях	26
Павлов Е.И., Лифанов О.Н., Исаев Д.А. Конструирование разделительных камер на дождевой сети канализации	31
Бурачек В.Г., Гладких И.И., Семака А.Н. Особенности измерения скорости и направления движения водного потока в трехмерном пространстве	35
Зоценко М.Л., Ларцева И.И., Петраш О.В., Иванченко В.Г., Сухоросов И.М. Водонепроницаемые ограждения из грунтоцемента, изготовленного по буромесительной технологии	39
Таварткиладзе И.М., Юрченко А.М. Рассредоточенная подача сточных вод на башенные биофильтры	46
Охримюк Б.Ф., Грицина О.О. Совершенствование методики расчета аэротенков для повышения эффективности удаления соединений азота	50
Ющенко А.В. Удаление агрессивных газов из сточных вод Водолечебниц	56
Коцар О.М., Миронюк Ю.О. Исследование технологии кондиционирования жидкого гноя свинокомплексов с целью его утилизации	66
Петренко А.С. Особенности обеспечения условий сброса сточных вод комплексом очистных и водовыпускных сооружений	72

CONTENTS

Ignatenko O.P. The current situation of rain sewerage in Ukraine and state of legal provision of surface drainage	7
Polevyi V.I. The practical problems of hydraulic calculation of surface drainage systems	9
J.M. Krjwenko, A.O. Beljatyenskij. Peculiarity flows small depth on surface covering	11
Savenko V., Slavinska O., Styozhka V. The methods of calculation for parameters of shallow bedding drainage on the road's in considering with the annual cycle of exploitation	19
Zhuk V.M. Contemporary stormwater management at the urbanized watersheds	26
Pavlov E.I., Lifanov O.N., Isaev D.A. Designing separating chambers on a rain water drain	31
Burachek V., Gladkikh I., Semaka A. Features of measuring speed and direction of movement of water flow in three-dimensional space	35
Zocenko M.L., Larceva I.I., Petrash O.V., Ivanchenko V.G., Suhorosov I.M. Watertight diaphragm erection from vertical soil-cement elements which made by boring and mixing technology	39
Yurchenko A.M., Tavartkiladze I.M. The dispersed serve of flow waters is on oxidation columns	46
Ohrymyuk B., Hrytsyna A. The improving of aerotank calculation method to increase the removal effectiveness of nitrogen compounds	50
Yushchenko A.V. Removing aggressive gases from sewage that are coming from the resorts	56
Kotsar O.M., Mironyuk J.O. Research of conditioning technology liquid pus of pig forms for the purpose of its utilization	66
Petrenko A.S. Features of providing of terms of upcast of sewages by complex of treatment works and water-discharge buildings	72

Від редакційної колегії

Цей випуск збірника містить матеріали, рекомендовані до публікації рішенням оргкомітету 72-ї науково-практичної конференції Київського національного університету будівництва і архітектури (22-25 березня, 2011 р., КНУБА, Київ) – секція «Підвищення ефективності використання водних, теплових та енергетичних ресурсів і охорони навколишнього природного середовища» підсекція при кафедрі гідравліки та водовідведення.

Тематично рекомендовані публікації присвячені питанням, пов'язаним з проблемами відведення поверхневого (дощового) стоку, очищення стічних вод, охорони природних водойм.

УДК 628.2

О.П. ІГНАТЕНКО кандидат економічних наук, директор
Департамент благоустрою, комунального обслуговування та міського електротранспорту
Мінжитлокомунгосп України

СТАН ЗЛИВОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ПИТАНЬ ОБЛАШТУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Подано аналіз сучасного стану зливової каналізації в Україні. Розглянуто основні проблеми та проаналізовано стан нормативно-правового забезпечення облаштування поверхневого водовідведення. Висловлено пропозиції щодо внесення змін до відповідної нормативно-правової бази.

Ключові слова: поверхневе водовідведення, злилова каналізація, нормативно-правове забезпечення, благоустрій території.

Представлен анализ современного состояния ливневой канализации в Украине. Рассмотрены основные проблемы и проанализировано состояние нормативно-правового обеспечения обустройства поверхностного водоотвода. Разработаны предложения о внесении изменений в соответствующую нормативно-правовую базу.

Ключевые слова: поверхностное водоотведение, ливневая канализация, нормативно-правовое обеспечение, благоустройство территории.

The article gives a review of the current situation of rain sewerage in Ukraine. The main problems in this area are considered. The author gives an analysis of state of the legal provision of surface drainage. The suggestions to the legal regulations are made.

Key words: surface drainage system, rain sewerage, legal provisions, landscaping.

Наслідки природних катаклізмів в Україні призводять до масових затоплень з руйнуванням житлових та громадських будівель, ліній електропередач, мостів та доріг, мереж та комунікацій, інших об'єктів життєзабезпечення населення, сільськогосподарських угідь, а також до зсувів ґрунтів та підтоплення територій.

Про це свідчать наступні факти.

У грудні 2009 року на території Закарпатської області випав дощ високої інтенсивності. Кількість опадів становила до 230 мм, що вдвічі перевищувало місячну норму. Амплітуда підняття рівня води в річці Тиса за паводок склала від 3 м у місті Рахів до майже 8 м у місті Вилोक.

Наступний великий паводок стався у червні 2010 року через інтенсивні опади, перезволоження ґрунту та відсутність систем водовідведення на території Закарпатської області, де було підтоплено близько 1420 домогосподарств та 3500 га сільгоспугідь семи районів області, а також в містах Ужгород та Мукачево.

У період 28-29 червня 2010 року на Буковині через ускладнення погодних умов було підтоплено 3650 житлових будинків, чотири населених пункти залишилися без газопостачання. Крім того, 2 житлових будинки були зруйновані повністю, 5 – частково; підтоплені 37 об'єктів соціальної сфери, 3123 підвальних приміщення, 7579 присадибних ділянок. Також в області було зруйновано три дамби.

При цьому **найбільші затоплення та підтоплення** домогосподарств та сільськогосподарських угідь сталися на незахищених протипаводковими спорудами ділянках – там, де захист забезпечують старі не реконструйовані дамби, а також **в населених пунктах, де не влаштовані системи поверхневого водовідведення.**

На початок 2011 року загальна довжина вулиць з твердим покриттям по Україні становила **143,2 тис. км**, з якої лише **8,7 тис. км** (близько **6,1%** від їх загальної довжини) обладнані системою зливової каналізації, довжиною **7 тис. км**, а **4,7 тис. км (3,3%)** обладнані мережею централізованого водовідведення, в яку поступають зливові води.

Решта вулиць з твердим покриттям (130 тис. км, або 90,6% від загальної довжини) взагалі не обладнані зливовою каналізацією.

Протягом 2010 року злизову каналізацію було очищено практично повністю (майже на 100%) у Тернопільській, Кіровоградській, Луганській, Львівській, Миколаївській, Полтавській, Сумській областях та у АР Крим. В той же час найгірший стан очищення зливових систем має місце в Одеській (21%) та Донецькій (23%) областях. В середньому по Україні цей показник становить 68%.

Існуюча потреба у фінансуванні заходів, спрямованих на покращення стану злизової системи, складає більше **3 млрд. 640 млн. грн.** Ця сума включає потреби у фінансуванні будівництва в розмірі (близько **3 млрд. 120 млн. грн.**), капітального ремонту (біля **380 млн. грн.**), поточного ремонту, утримання та очищення злизової каналізації (близько **135 млн. грн.**)

В разі забезпечення необхідного обсягу фінансування планується збудувати понад **4 тис. км** злизової каналізації, провести капітальний ремонт **580 тис. км**, а також очистити та провести поточний ремонт близько **1950 тис. км** злизової системи.

Як свідчить стан справ у сфері благоустрою, ще мають місце проблемні питання, що виникають внаслідок недостатньої уваги з боку органів місцевого самоврядування до вимог Законів України «Про благоустрій населених пунктів» та «Про місцеве самоврядування в Україні», зокрема стосовно вирішення питань, спрямованих на удосконалення стану утримання та очищення зливових систем.

Надання більшої уваги даному питанню дозволило би здійснювати відповідні заходи із обсерігання територій і населених пунктів від масових затоплень з подальшим руйнуванням житлових і громадських будівель, ліній електропередач, мостів та доріг, мереж та комунікацій, інших об'єктів життєзабезпечення населення, сільськогосподарських угідь.

3 метою належної організації ефективного відведення поверхневих вод Міністерством здійснюється удосконалення нормативно-правової бази. Так, наказом Мінжитлокомунгоспу від 19.08.09 № 259 затверджений стандарт СОУ ЖКГ 41.00-35077234.0018:2009 «Улаштування поверхневого водовідведення на території міст і селищ», який зареєстровано державним підприємством «УкрНДІЦ» 12 лютого 2010 року.

Розроблений стандарт містить визначення головних понять та розрахункових положень, а також вказівки й рекомендації щодо проектування, будівництва, реконструкції систем поверхневого водовідведення та виготовлення компонентів цих систем.

Положення цього стандарту регулюють діяльність з попередження підтоплення територій міст і селищ, обладнаних покриттям різного ступеню проникності.

Наказом Мінжитлокомунгоспу від 23.12.10 № 470 затверджені «Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод», в яких наведені рекомендації щодо влаштування споруд поверхневого водовідведення, приведений розрахунок кількісних та якісних характеристик зливових стоків, гідравлічні розрахунки каналізаційних мереж для відведення зливових стоків, розроблені рекомендації стосовно визначення схем та технологічних параметрів очисних споруд.

Поверхнєве водовідведення на територіях населених пунктів улаштовується для забезпечення сприятливих умов проживання населення та функціонування інфраструктури населених пунктів з метою інженерного захисту цих територій від затоплення та підтоплення поверхневими стічними водами, збору та відведення на очисні споруди найбільш забрудненої частини поверхневого стоку, яка утворюється в періоди випадіння дощів, танення снігу або від мийки, а також в аварійних ситуаціях при проривах водопровідних та каналізаційних колекторів, витоках із водосховищ, гасінні пожеж тощо.

Конструкційні характеристики систем поверхневого водовідведення відрізняються за об'ємом та режимом надходження дощових стічних вод, пропускною спроможністю водовідводу (об'ємом води яку конструкція може прийняти та відвести на протязі даного періоду часу), класом навантаження (дією на лоток чи решітку навантажень від транспортних засобів тощо).

Наразі Міністерством розроблено проект наказу «Про затвердження методики оцінки обсягів поверхневих стоків при їх прийманні на каналізаційні системи» та проект ДСТУ Б В.2.5.-XX:201X «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Системи поверхневого водовід-

ведення. Загальні технічні вимоги». На даний час ці нормативні документи знаходяться на розгляді та погодженні зацікавлених організацій та центральних органів виконавчої влади.

Розроблений стандарт відноситься до нормативних документів, які врегульовують питання у сфері будівництва та проектування систем поверхневого водовідведення з урахуванням сучасних вимог до благоустрою населених пунктів.

УДК 624.04

В.І. ПОЛЕВИЙ, кандидат юридичних наук
ТОВ «Центр Стандарт Парк»

ПРАКТИКА ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ПОВЕРХНЕВОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Розглянуто практичні проблеми застосування гідравлічного розрахунку, за БНіП 2.04.03-85 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди» в частині підбору систем поверхневого водовідведення. Аргументовано потребу доопрацювання існуючого механізму гідравлічного розрахунку.

Ключові слова: гідравлічний розрахунок, системи поверхневого водовідведення.

Рассмотрены практические проблемы применения гидравлического расчета, по СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» в части подбора систем поверхностного водоотвода. Аргументирована необходимость доработки существующего механизма гидравлического расчета.

Ключевые слова: Гидравлический расчет, системы поверхностного водоотвода.

The article considers the practical problems of application of hydraulic calculations, which approved by the CN&R 2.04.03-85 «Sewerage. External networks and buildings» in terms of selection of surface drainage systems. The author argues the need to rework existing mechanism for hydraulic calculation.

Key words: hydraulic calculation, surface drainage system.

Автор спирається на досвід, отриманий компанією «Стандартпарк» при виробництві та продажу систем поверхневого водовідведення.

Стандартпарк є комерційною структурою і без отримання прибутку не зможе вижити в умовах ринку. Разом з цим, не тільки прибуток, але, перш за все, мета вела компанію до успіху останні 10 років. Стандартпарк дійсно намагається змінити на краще життєвий простір, який нас оточує. Тому ми усвідомлюємо відповідальність за те, наскільки якісно товар під брендом «Стандартпарк» виконує функцію водовідведення, задля вирішення якої його купують. Одночасно ми можемо твердо запевнити, що наші системи відповідають чинним будівельним нормативам. Інше питання, наскільки, власне, ці норми відповідають реаліям сьогодення, перш за все кліматичним умовам і постійно зростаючим вимогам ефективності та безпеки, які висуває суспільство.

Ми реально відчуваємо глибину розриву між теорією та практикою, коли розробляємо, наприклад, автоматизовану програму гідравлічного розрахунку при підборі лінії лотків для заданої території з певними кліматичними умовами.

Програмний продукт «Гідравлічний розрахунок» для підбору СПВ (системи поверхневого водовідведення) розроблений в компанії «Стандартпарк» на підставі офіційних методик, закріплених у чинних будівельних нормах і правилах СНиП 2.04.03-85 «Каналізація. Внешние сети и сооружения» [1] і СНиП 2.05.08-85 «Аэродромы» [2]. При цьому за основу були взяті залежності із [2], які більш повно враховують кліматичні характеристики регіону, а також геологічні властивості поверхні (наприклад, у розрахунках присутній коефіцієнт шорсткості поверхні водозбору).

Програма розміщена на сайті компанії www.standartpark.com.ua.

Призначенням програми «Гідравлічний розрахунок» є:

1. Підготовка технічних рішень щодо застосування систем поверхневого водовідведення. При цьому отримані рішення не замінюють собою офіційні розробки проектних організацій, що мають відповідні ліцензії.
2. Автоматизація (прискорення) процесу підбору лотків.
3. Спрощення спілкування клієнтів з менеджерами «Стандартпарк».

Програма дозволяє:

а) клієнту «Стандартпарк»:

- Отримати розрахункову витрату стічних вод з поверхні, що його цікавить (менеджеру залишається тільки підібрати лотки);
- Скоротити час спілкування з менеджерами СВОГО РЕГІОНУ шляхом заповнення даних про поверхню водозбору;
- Говорити 3І СВОЇМ менеджером «про одну картинку», використовуючи результати розрахунку (кожен розрахунок отримує свого відповідального менеджера);

б) менеджеру «Стандартпарк» на підставі поданих клієнтом даних:

- підібрати лінію лотків, яка відповідає потребам клієнта;
- розрахувати діаметр труби колектора;
- надати клієнту результати гідравлічного розрахунку.

Розробники намагалися максимально візуалізувати складні кліматичні карти і спростити введення даних користувачем. У результаті введення, наприклад, кліматичних характеристик (чотири змінні) відбувається за допомогою одного «кліка» на інтерактивній мапі GoogleMap.

Там, де це було доцільно, методика СНиП була дещо спрощена. Так, наприклад, ми вчинили щодо вибору параметра «Р» періодичності одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу.

Згідно СНиП 2.04.03-85 (п.2.15) параметр Р необхідно вибирати залежно від площі водозбору, характеру об'єкта каналізування, умов розташування колектора з урахуванням наслідків, які можуть бути викликані випаданням дощів, що перевищують розрахункові.

За СНиПом значення параметра коливаються від 0,33 до 50 і підбираються за трьома таблицями залежно від великого числа характеристик. При цьому самі характеристики мають досить умовний характер (наприклад, «сприятливі/несприятливі» умови розташування колектора). Характерно також, що СНиП оперує площами близько 150 га, у той час як практика застосування поверхневого водовідведення «Стандартпарк» (частина системи водовідведення до найближчого стоку в загальний колектор) оперує площею водозбору до 5 га.

У результаті ми оптимізували і звели все різноманіття варіантів вибору параметра Р до чотирьох варіантів:

- паркова зона;
- житлово-комунальні об'єкти;
- промислові зони (логістичні центри, заводи, аеропорт, морський порт, АЗС), автодороги;
- входи в метрополітен, підземні переходи, в'їзди в тунелі та ін.

Паралельно з використанням програми компанія надає можливість для обговорення та участі у доопрацюванні програми всім бажаним фахівцям. Таким чином, ми враховуємо, що СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» було розроблено на початку вісімдесятих років минулого століття. Кліматичні статистичні дані не оновлювалися з сімдесятих років. Кліматичні карти, вказані у СНиП викликають певне здивування і бажання ні за яких обставин не пояснювати студентам, менеджерам, клієнтам чому ми й сьогодні послуговуємося цими безумовно застарілими даними.

СНиП не передбачають, наприклад, круглих чи овальних перерізів каналів, там немає методики розрахунку пропускної здатності з урахуванням можливих втрат напору в решітках каналів тощо.

Саме в цих питаннях ми очікуємо аргументованих рекомендацій від науковців та теоретиків.

Під час розробки програми до співпраці було залучено провідних спеціалістів-гідравліків інституту «Мосаэропроект», але невирішені питання залишились. Наприклад, з одного боку, спеціалісти

переконали нас, що застосовувати фіксований час протікання води по схилу до точки скидання (як це рекомендовано у СНиП 2.04.03-85) при гідравлічному розрахунку не можна, і що це є грубою помилкою.

В той же час, ми не отримали точної відповіді на запитання, як вийти з ситуації, коли із збільшенням розрахункової ширини схилу зростає час руху води по схилу, але при цьому зменшується розрахункова витрата води:

$$Q_r = \frac{Z_{mid} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}}$$

Адже Q_r при цьому зменшується.

Відповідь фахівця звучала приблизно так: «Гідравлічний та гідрологічний розрахунки систем водовідведення сьогодні та й завжди були малозрозумілими».

Отже, ми хочемо самі зрозуміти і зробити так, щоб кожний менеджер компанії, який несе відповідальність за поставку каналів на об'єкт, мін зрозуміти і використовувати цей розрахунок.

Саме для цього Стандартпарк здійснює новий напрям роботи з профільними ВНЗ. З цією метою ми ініціювали проведення профільної конференції у березні 2011 року в КНУБА, яку плануємо надалі зробити щорічною. Для цього ми готові сприяти:

- інформаційно (надавати максимально можливу і необхідну інформацію та сприяти широкому її розповсюдженню, зокрема через даний науковий збірник);
- організаційно (проводити конференції, семінари, координувати роботу одночасно, наприклад, декількох кафедр чи установ, надавати технічні майданчики та продукцію для випробувань);
- фінансово (оплатити спеціалізовані наукові та конструкторські розробки).

Що ми хочемо отримати в результаті:

- актуальну, науково обґрунтовану методику гідравлічних розрахунків;
- підручники та методичні вказівки щодо проектування поверхневого водовідведення для студентів ВНЗ України.

Список літератури

1. СНиП 2.05.08.85. Аэродромы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.
2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.

УДК 625.717:681.17

Ю.Н. КРИВЕНКО, кандидат технических наук
А.А.БЕЛЯТЫНСКИЙ, доктор технических наук
 Национальный авиационный университет

ОСОБЕННОСТИ ПОТОКОВ МАЛОЙ ГЛУБИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ

Наведені результати експериментальних досліджень у лабораторних та природніх умовах потоків, глибина яких складає 0,25...10 мм і порівнювана з висотами, що характеризують макронерівності поверхні покриття. Встановлено, що існуючі методи розрахунку опорів, для таких потоків дають менші за дійсні результати. Запропоновані корегуючі залежності.

Ключові слова: висота шару води, потік малої глибини – 0,25...10 мм, коефіцієнт опору, режими течії, ухил і нерівність поверхні, глісування (аквапланування).

Приведены результаты экспериментальных исследований в лабораторных и естественных условиях потоков, глубина которых составляет 0,25...10 мм и соизмерима с высотами, ха-

характеризующими макронеровность поверхности покрытия. Установлено, что существующие методы расчета сопротивлений для таких потоков дают заниженные результаты. Предложены корректирующие зависимости.

Ключевые слова: высота слоя воды, поток малой глубины – 0,25...10 мм, коэффициент сопротивлений, режимы течения, уклон и неровность поверхности, глиссирование (аквапланирование).

The results of experimental studies in laboratory and natural conditions of streams, whose depth is 0,25...10 mm and comparable to the heights that characterize makronerovnost the coating surface. Established that the existing methods of calculating resistances for such flows give low results. Proposed corrective dependence.

Key words: height layer water, flows small depthon – 0,25...10 mm., hydroplaning, aquaplaning, shallow liquid flow, depth of a water film, mode of flow, slope, surface roughness.

Вода на поверхности покрытия уменьшает сцепление пневматиков авиалайнеров с покрытием, а при достаточно больших скоростях (взлетно-посадочные скорости достигают 100...350 км/час) и сравнительно малых давлениях в пневматиках может вызвать глиссирование (аквапланирование) и выкатывание самолета за пределы концевой или боковой полос безопасности. Как указывается в материалах ИКАО [1], глиссирование может наступить при попадании пневматика в лужу глубиной порядка 3 мм и продолжаться далее при значительно более тонком слое. В аэропорту Орли на поверхности ровного, гладкого покрытия глиссирование наблюдалось даже при слое воды высотой 0,6 мм.

Особо существенно снижается сцепление при замерзании воды и возникновении гололедицы. Существенное влияние воды на эксплуатацию ВПП (взлетно-посадочных полос) подчеркивается и существующими нормативами [2].

Анализ данных исследований и нормативной литературы по расчету потоков на покрытиях аэродромов [3,4] показал их недостаточность применительно к рассматриваемым условиям – потокам малой глубины порядка 0,25...10 мм, когда высота неровностей на покрытии сопоставима с высотой потока (рис. 1).

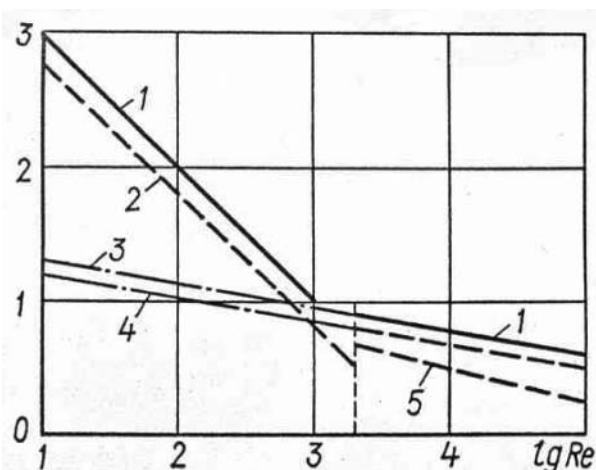


Рис.1. Сопоставление существующих методов расчета по формулам Маннинга (3) и Н.Н.Павловского (4) с теоретической зависимостью для открытых потоков (1) и ламинарных потоков в круглых трубопроводах (2).
5 – зависимость для гидравлически гладких напорных трубопроводов.

Рекомендуемые способы расчета относятся либо к турбулентным потокам значительной глубины, либо исходят из предпосылок турбулизации ламинарных потоков каплями дождя.

И на автодорогах, где скорости достигают 150 км/час и имеют четкую тенденцию к увеличению, а конструктивные скорости автомобилей значительно превышают допустимые, большинство дорожно-транспортных происшествий связано со скользкостью, со снижением коэффициента сцепления колес с покрытием [5]. Опасность снижения сцепления и глиссирования на

автодорогах становится даже большей чем на ВПП, поскольку давление в колесах легковых автомобилей часто находится около 0,2 МПа, что значительно меньше, чем в пневматиках самолетов – 0,6...1,2 МПа.

В Национальном аэрономическом университете Украины проводятся научно-исследовательские работы по созданию дистанционной автоматической системы контроля и прогнозирования состояния поверхности взлетно-посадочных полос [6], в рамках которой был предложен датчик глубины слоя воды для ВПП [7]. На рис. 2 показаны полученные с помощью этого датчика зависимости высоты слоя воды от времени в характерной точке ВПП в аэропорту Киев (Жуляны) при дождях различной интенсивности.

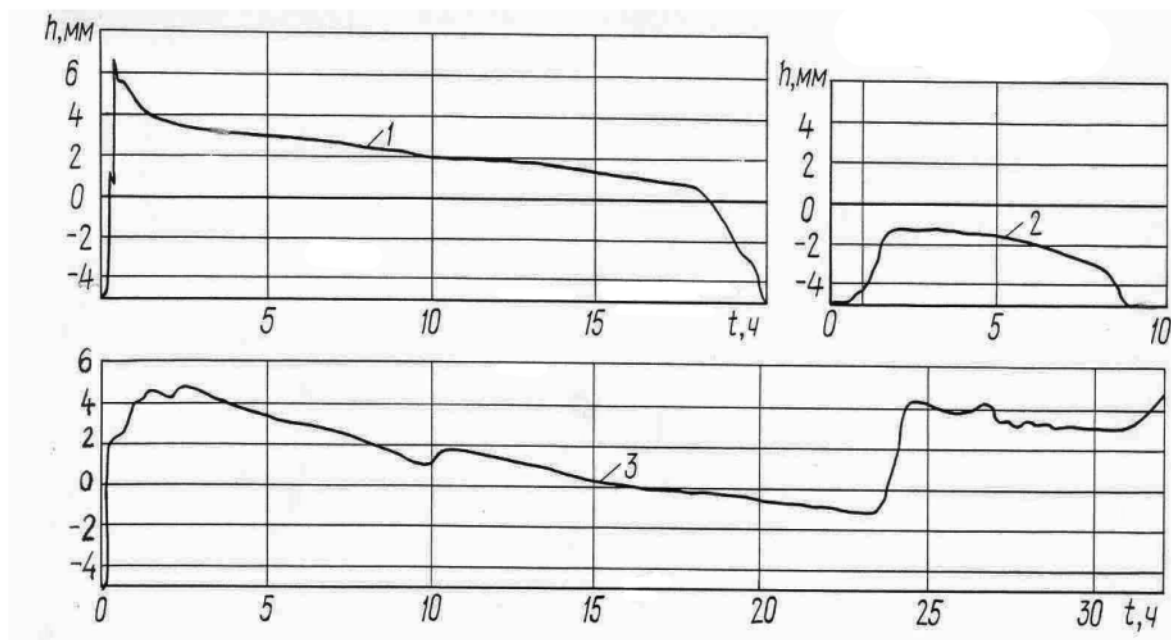


Рис.2. Зависимость глубины слоя воды от времени в характерной точке на ВПП аэропорта Киев при дождях различной интенсивности и продолжительности

Экспериментальные исследования потоков жидкости малой глубины. выполнялись для оценки состояния всего покрытия по показаниям датчиков и для определения количества датчиков,

На данном этапе проводились исследования, главным образом, для транзитных потоков, которые наблюдаются на ВПП, где длина склонов достигает 20...50 м и более. Как показали расчеты и наблюдения, в условиях Украины влияние капель дождя на поток будет существенным лишь при наибольших интенсивностях осадков и на начальных участках, где поток лишь формируется. По-видимому, влияние капель необходимо будет учитывать на начальных участках и при небольших длинах склонов. Такие условия более характерны для автодорог.

Для проведения исследований были созданы две лабораторные установки – одна в помещении и вторая на открытом воздухе. Кроме того, проводились также исследования непосредственно на действующих ВПП. Лабораторная установка (рис.3) представляет собой стальной двутавр длиной 3,7 м, на который укладывался и уплотнялся вибратором бетон слоем 40 мм. Поверхность бетона выравнивалась и железнилась цементом марки 400. Уклон лотка мог изменяться от 0 до 0,02 и фиксировался указателем 4. Вода в лоток подавалась от водопровода или, при расходах свыше 150...200 см³/с, от насоса. Глубина потока измерялась с помощью мерных игл (шпиценмасштабов) в трех указанных на рис.3 створах. Створы выбирались таким образом, чтобы исключалось влияние входных и выходных участков. Стабильность глубин и расхода в течение опыта контролировались датчиком глубины потока 11 и самопишущим прибором 12. Для качественной проверки влияния капель дождя на транзитный поток использовалась дождевальная установка 10, представлявшая собой трубопровод диаметром 20 мм с отверстиями, у которых прикреплялись специальные «усы» для формирования капель и равномерного их распределения по поверхности потока.

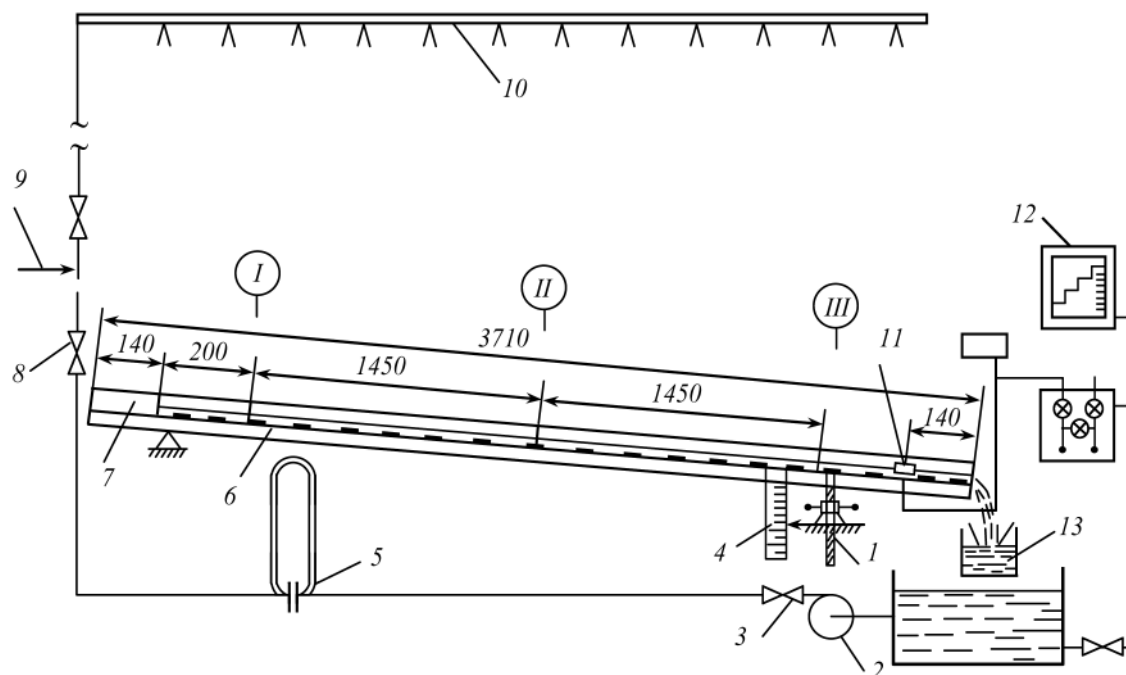


Рис.3. Схема лабораторной установки с лотком шириной 280 мм:
 1 — подъемник; 2 — насос для потоков глубиной более 5—6 мм;
 3, 8 — задвижка и вентили для регулирования расхода воды;
 4 — указатель уклона лотка; 5 — расходомер; 6 — двутавр;
 7 — успокоитель потока; 9 — подача воды из водопровода;
 10 — дождевальное устройство; 11 — датчик глубины потока воды;
 12 — регистрирующий прибор; 13 — емкость для измерения расхода воды

Установка на открытом воздухе отличалась только большими размерами (ширина потока составляла 370 мм при длине 8 м), а также отсутствием насоса и дождевальной установки. Шероховатость поверхности на этом лотке, вследствие длительного (более трех лет) влияния на бетон атмосферных осадков и морозов, была значительно большей.

Измерялась шероховатость поверхностей по рекомендациям ИКАО [1] засыпкой поверхности песком или заливкой смазочным материалом с последующим разглаживанием фиксируемого объема песка или смазки и измерением полученного отпечатка. Шероховатость бетонной поверхности лотка в лаборатории составляла в среднем 0,1 мм, а лотка на открытом воздухе – 0,4 мм.

На данном этапе проводились, в основном, исследования транзитного потока, потока без учета капель дождя, поскольку такие потоки на ВПП наблюдаются наиболее часто. Ширина ВПП достигает 40...50 м, а транзитный поток формируется в начале склона. Влияние капель дождя, вероятно, будет наиболее ощутимо на начальном участке, что станет существенным при небольших длинах склона, свойственным автодорогам. Такое влияние предполагается исследовать в будущем. Представлены результаты только одного опыта с дождем, который удалось провести. Результаты лабораторных экспериментов показаны на рис. 4. в виде зависимостей глубины потока h от расхода Q и на рис. 5 в форме зависимостей коэффициентов сопротивления λ от числа Рейнольдса (Re).

Выбор коэффициента λ , который обычно применяется для напорных потоков, вместо коэффициента Шези, широко используемого для безнапорных, русловых потоков, нам представился более удобной формой для обработки и анализа полученных результатов.

Коэффициент λ определялся по формуле Дарси в записи для плоского потока:

$$\lambda = 8gh/V^2, \quad (1)$$

где i – уклон поверхности покрытия, V – средняя скорость потока.

Как известно, коэффициент λ связан с коэффициентом Шези C соотношением

$$C = (8g/\lambda)^{0.5}. \quad (2)$$

При проведении опытов в лаборатории мерная емкость подставлялась в конце лотка, а при проведении опытов на ВПП – в начале лотка, под трубопровод от резервуара с запасом воды.

Число Рейнольдса

$$Re = 4Vh/\nu, \quad (3)$$

Где ν – коэффициент кинематической вязкости.

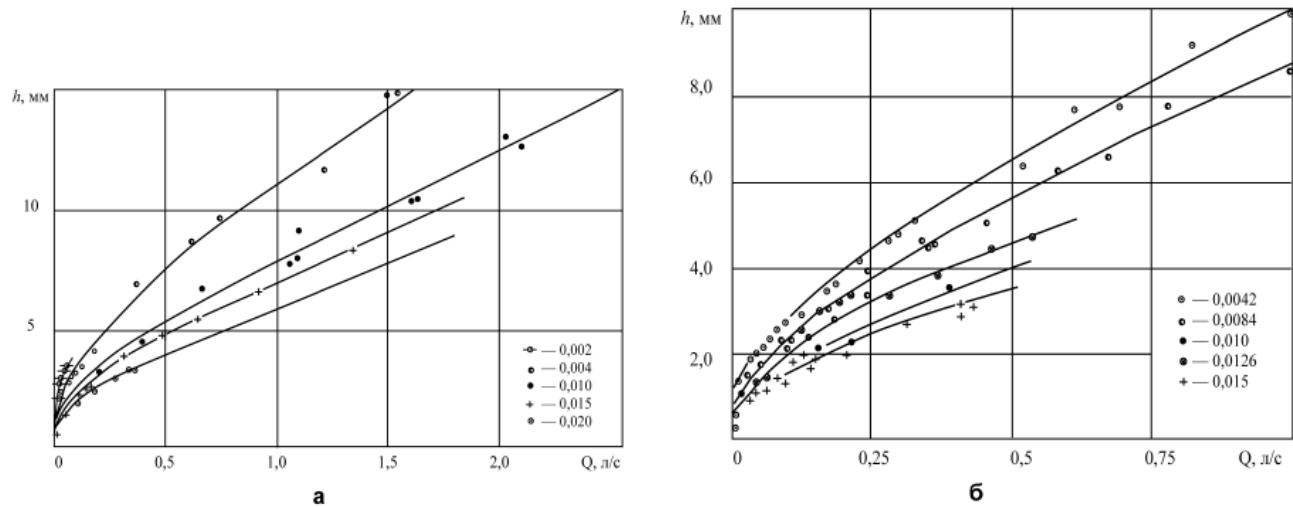


Рис. 4. Зависимости глубины потока h от расхода Q на бетонной поверхности:
а – шероховатость $\Delta = 0,1$ мм, б – шероховатость $\Delta = 0,4$ мм, длительное время подвергавшаяся атмосферному воздействию. У точек указан уклон дна потока

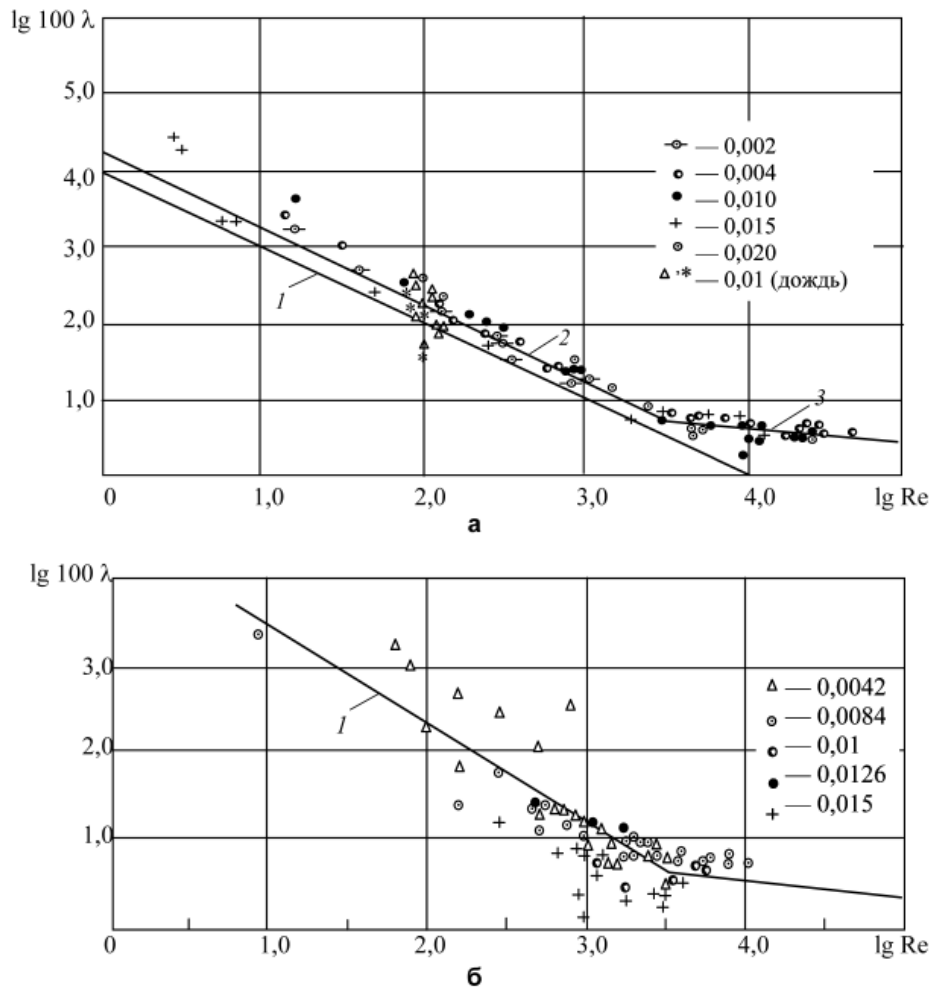


Рис. 5. Зависимости коэффициентов сопротивления λ для потоков малой глубины на бетонной поверхности от режима течения (от чисел Рейнольдса):
а — шероховатость поверхности $\Delta = 0,1$ мм, 1 – линия, соответствующая обычным плоским потокам ($\lambda = 96/Re$); 2 и 3 – линии, аппроксимирующие результаты опытов при ламинарном и турбулентном течении;
б — шероховатость $\Delta = 0,4$ мм (поверхность длительное время подвергалась атмосферному воздействию), 1 – линия, соответствующая гладкой поверхности с $\Delta = 0,1$ мм – линии 2 на рис.5а.

Анализ полученных результатов, а также проведенные в процессе опытов оценки ошибок измерения отдельных параметров, позволяют считать выполненные опыты достаточно достоверными. Наибольшую трудность в этих опытах представляет измерение с достаточной точностью глубины потока. Точность измерения шпигенмасштабом составляет 0,05 мм (половина цены деления шкалы прибора). Однако, в связи с неровностью самой поверхности, большое значение имеет место установки самого прибора. На лабораторном лотке места установки прибора были постоянными, как по длине лотка, так и по ширине створа.

Сначала производились измерения глубин в поперечном створе при горизонтальном расположении лотка, при глубинах порядка 3...4 мм с точностью около 0,1 мм. Затем определилась средняя высотная отметка, и над ней располагалась игла прибора. Отсчеты по шкале прибора выполнялись в момент соприкосновения иглы с ее отражением в воде. Выполнялись отсчеты, как правило, двумя наблюдателями. Естественно, при течении потока на малые глубины начинала влиять и продольная неровность поверхности, несколько искажавшая отдельные струи. Это искажение в определенной мере зависело от скорости потока. О точности полученных данных можно судить по представленным материалам.

На основании опытов в лаборатории на гладкой поверхности можно рекомендовать для расчетов глубин и скоростей потоков малой глубины следующие зависимости:

– для ламинарного течения (при $Re = 4Vh/\nu < 3000$) вместо широко известной зависимости для обычных потоков $\lambda = 96/R$ (на рис.5а линия 1) зависимость:

$$\lambda = 167/Re, \quad (4)$$

которой на рис. 5а соответствует линия 2;

– для турбулентного течения (при $Re = 4Vh/\nu > 3000$) этой зависимости соответствует линия 3:

$$\lambda = 0,11(\Delta / 4h)^{0,25}. \quad (5)$$

Последняя формула представляет собой известную формулу Шифринсона, которая для напорных потоков в круглых трубопроводах диаметром D имеет следующий вид:

$$\lambda = 0,11(\Delta e / D)^{0,25},$$

а в трубопроводах произвольной формы с гидравлическим радиусом $R = \omega/\chi$:

$$\lambda = 0,11(\Delta e / 4R)^{0,25}.$$

В этих формулах Δe – эквивалентная шероховатость трубопровода, ω – площадь живого сечения потока, χ – смоченный периметр.

Особое место занимают опыты на лотке с поверхностью, подвергнувшейся длительному воздействию атмосферных осадков и морозам. Покрытие в этом лотке, как показало время, было выполнено недостаточно прочным. Однако такие поверхности тоже встречаются, и опыты имеют свою ценность. В будущем предполагается на этом лотке провести опыты с реальным дождем.

Следует также отметить положительное влияние на выполненные измерения автоматического датчика глубины слоя воды, подключенного к самопишущему прибору. Датчик прошел государственную метрологическую аттестацию и, по заключению, имеет предел основной погрешности 0,4 мм водяного столба в диапазоне от 0,1 до 10 мм. Запись глубины слоя во времени позволяла контролировать ход опыта и повысить точность измерений.

На ВПП в аэропорту Киев (Жуляны), на участке, где были выполнены опыты, шероховатость поверхности составила 0,44 мм. Опыты проводились (рис. 6) еще до реконструкции ВПП и кроме существенной неровности покрытия (плиты были уложены еще в конце 40-х годов, причем размер плит был небольшим – 3 на 4 м), определенное влияние на течение воды оказывали не всегда качественно выполненные температурные швы между плитами – швы заполнялись мастикой «с запасом» и значительно выступали над поверхностью покрытия.

Лоток на ВПП имел ширину 1 м и длину 12...20 м. Шероховатость поверхности составляла, в среднем, 0,44 мм. На основании этих опытов для ламинарного течения по значительно неровной поверхности с температурными швами, плохо заполненными мастикой, получено:

$$\lambda = 344/Re. \quad (6)$$

На ВПП в аэропорту Минеральные Воды (рис. 7) бетон имел значительно лучшее состояние. Плиты там были размером 7,5 на 15 м и уложены сравнительно недавно. Швы между ними на те-

чение воды практически не влияли. Лоток имел ширину 1 м а длину – 19...35м. Особенностью этой ВПП были также специальные борозды глубиной 2...3 мм, которые устраивались на поверхности после укладки бетона и служили для улучшения водоотвода и повышения сцеплении пневматиков с поверхностью покрытия. Борозды проходили перпендикулярно оси ВПП и, как правило, совпадали с уклоном и направлением стока воды. Видимо, эта особенность поверхности ВПП и стала причиной значительного снижения коэффициента λ (рис.8).

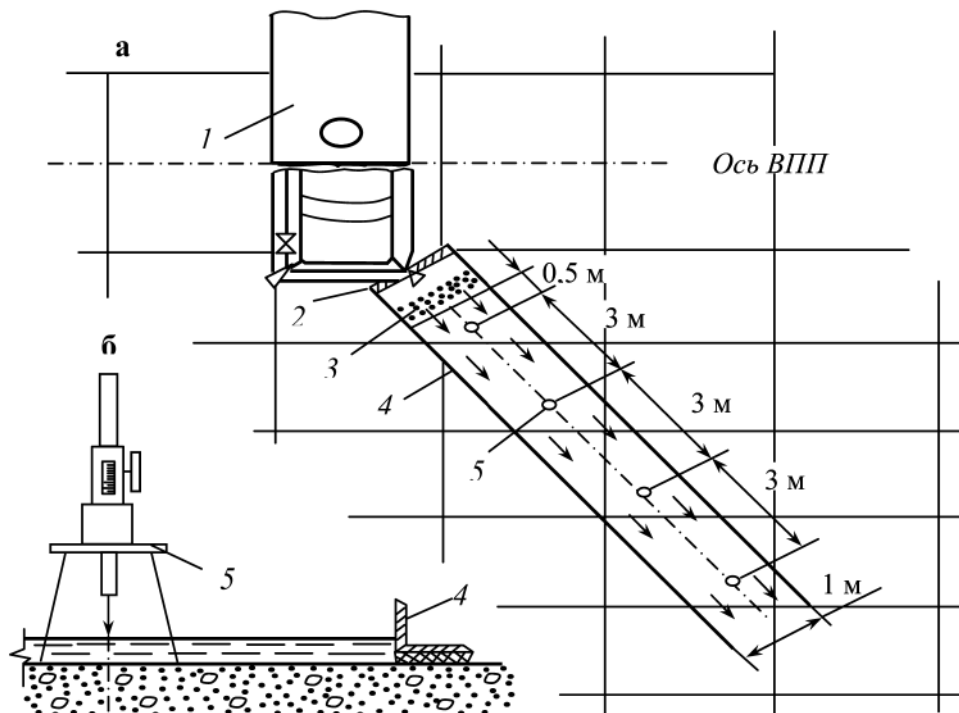


Рис. 6. Схема проведения опыта на взлетно-посадочной полосе в аэропорту Киев:
 а – схема размещения машины с запасом воды 1 и лотка 4; 2 – водонепроницаемая перегородка; 3 – успокоитель, слой гравия; 5 – точки измерения глубины шпигенмасштабом;
 б – схема установки шпигенмасштаба в лотке в разрезе

На заключительном этапе в лаборатории на стенде, показанном на рис.3, были проведены предварительные исследования влияния капель дождя на течение транзитного потока. Наблюдения показали, что капли дождя в этих опытах не привели к турбулизации основного потока, который остался ламинарным. Однако, в опыте расход от дождя составлял около трети транзитного потока. Как указывалось, в связи со значительными длинами стока на ВПП следует ориентироваться, в основном, на транзитные потоки.

Выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования показали, что существующие в аэродромной практике и практике проектирования автодорог зависимости для определения глубины слоя воды справедливы лишь для турбулентных потоков, в то же время стекание воды при атмосферных осадках происходит, зачастую, при ламинарном режиме и наблюдаемые при этом глубины значительно превышают расчетные. Для потоков малой глубины на плоских покрытиях критические числа Рейнольдса получены порядка 3000, что существенно больше, чем для обычных потоков.



Рис. 7. Проведение опытов на взлетно-посадочной полосе аэропорта Минеральные Воды: подготовка и проведение измерений

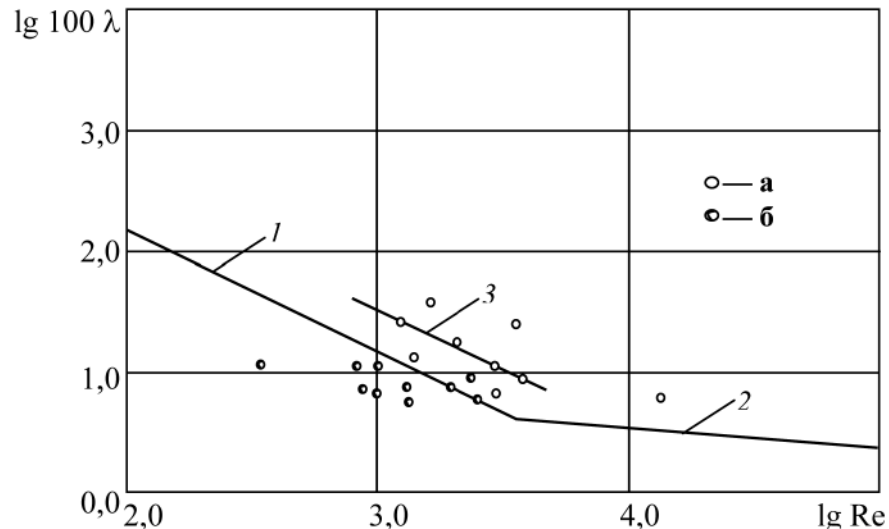


Рис. 8. Зависимости коэффициентов сопротивления λ для потоков малой глубины на бетонной поверхности ВПП от режима течения (от чисел Рейнольдса):
 а – в аэропорту Киев ($\Delta = 0,44$ мм и частые швы между плитами); б – в аэропорту Минеральные Воды ($\Delta = 0,4$ мм и продольные борозды глубиной 2...3 мм); 1 – линия соответствует линии 2 рис. 4а – ламинарному потоку на сравнительно гладкой поверхности; 2 – то же турбулентному потоку на сравнительно гладкой поверхности; 3 – ламинарный поток на достаточно неровной поверхности.

2. Для сравнительно гладких поверхностей при ламинарном течении в лаборатории коэффициенты сопротивлений получены в 1,7 раза больше общепринятых. На поверхности двух взлетно-посадочных полос с различной степенью видимой неровности получены коэффициенты сопротивлений как больше лабораторных, так и меньше. Уточнить расчетные коэффициенты наиболее просто пробными проливками конкретной поверхности покрытия после окончания строительных работ.

3. С учетом уточненных зависимостей, на основании нивелирной съемки поверхности и показаний датчика, расположенного в характерной точке покрытия, могут быть установлены реальные изолинии глубин на всей поверхности покрытия. На основании натуральных наблюдений представляется, что на ВПП расстояние между соседними датчиками не должно превышать 1 км. Датчики целесообразно располагать в конце склона наибольшей длины, где глубина потока будет также наибольшей.

Список литературы

1. Руководство по аэропортовым службам: Часть 2. Состояние поверхности покрытий. ИКАО, Монреаль, 2002. – 90 с.
2. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС-ГА-86). – М.: Воздушный транспорт, 1987. – 287 с.
3. Руководство по проектированию водоотвода и дренажа на летном поле аэродрома. – М.: МГА, ГПИИНИИ «Аэропроект», 1982, – 60 с.
4. Бабков В.Ф., Горецкий Л.И., Смирнов А.С., Глушков Г.И. Изыскания и проектирование аэродромов. – М.: Транспорт, 1981. – 616 с.
5. Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Выпуск 47. – Харьков, 2009, – 163 с.
5. Кривенко Ю.М. Дистанційний контроль стану поверхні злітно-посадкових смуг. / Вісник Національного авіаційного університету. – К., 2002. – 1 (12). – С.188–192.
6. Кривенко Ю.Н., Андрущак Л.Н. КИИГА. Авт. свид. №1125473 «Датчик глубины слоя жидкости на поверхности покрытия» МКИ 01 23/14. Опубл. 23.11.84, бюл.№43.

УДК 625.731

В.Я. САВЕНКО, доктор технических наук

О.С. СЛАВІНСЬКА, доктор технічних наук
В.В. СТЬОЖКА, студент
 Національний транспортний університет

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖУ МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ З УРАХУВАННЯМ РІЧНОГО ЦИКЛУ РОБОТИ

Наведено аналіз процесу вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками у річному циклі та викладено основні принципи розрахунку параметрів дренажних систем мілкового залягання. Приділено увагу режимам руху рідини в дренажній системі, розрахунку часу її осушення та підвищення щільності піщаного шару з часом.

Ключові слова: автомобільна дорога, вологість ґрунту, дренаж, питомий надлишок води, пропускна здатність, режим руху рідини.

Приведен анализ процесса накопления влаги в дорожных конструкциях с дренажными прослойками в годовом цикле и изложены основные принципы расчета параметров дренажных систем мелкого заложения. Уделено внимание режимам движения жидкости в дренажной системе, расчету времени ее осушения и повышения плотности песчаного слоя со временем.

Ключевые слова: автомобильная дорога, влажность почвы, дренаж, удельный избыток воды, пропускная способность, режим движения жидкости.

The humidity accumulation processes in road constructions with drainage layers within a year time are analyzed and the main principles of drainage systems' characteristics calculations of shallow bedding are presented. Different modes of liquid movement in drainage system are traced as well as timing of its draining and density increase of sandy layer.

Keywords: highway, humidity of soil, drainage, specific surplus of water, carrying capacity, mode of motion of liquid.

З початком весни стає очевидною проблема невідповідності транспортно-експлуатаційного стану покриття автомобільних доріг вимогам руху. Серед ряду причин виникнення такої ситуації є недосконалість методів проектування конструктивних елементів дорожньої конструкції.

Як відомо, одними з найбільш важливих показників, що впливають на міцність та деформаційну стійкість ґрунту верхньої частини земляного полотна та, відповідно, всієї дорожньої конструкції (шарів основи та покриття дорожнього одягу, узбіч) є вологість ґрунту та його щільність. Зрозуміло, що їх значення змінюються протягом року нерівномірно у зв'язку зі зміною погодних умов. Даним фактом ні в якому разі не можна нехтувати при проектуванні систем регулювання водно-теплового режиму.

Цій проблемі у своїх роботах приділяли увагу В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, І.А. Золотарь, В.І. Рувинський та ін.

Відомо, що відносно дешевим і конструктивно простим способом регулювання водно-теплового режиму земляного полотна є влаштування дренажного піщаного прошарку та поздовжнього дренажу мілкового залягання, оскільки правильно розрахована і збудована дренажна система швидко осушить верхню частину дорожньої конструкції в несприятливий період.

На етапі проектування, як правило, визначаються товщина підстильного піщаного дренажного шару та внутрішній діаметр дренажної труби. Правильне їх визначення дає змогу уникнути проблем при експлуатації конструкції, раціонально використати кошти на будівництво та забезпечити оптимальну роботу системи.

Зрозуміло, що вихідною величиною при розрахунках є питомий надлишок води, яка надходить до конструкції в розрахунковий період. Вже на етапі її визначення виникають неточності, зумовлені тим, що нормативним документом [1], який регламентує вимоги до дренажних систем та послідовність розрахунку їх параметрів, передбачено використання номограм та табличних даних, що обмежує індивідуальний підхід при виконанні розрахунку.

У практиці проектування дренажів широкого застосування набули типові проектні рішення [2]. Їх основними недоліками є те, що вони були розроблені ще у 80-х роках ХХ ст., не містять сучасних конструкцій та використовують застарілі дані щодо погодних умов.

Проаналізувавши всі можливі джерела зволоження верхньої частини земляного полотна (рис. 1), легко зробити висновок, що найбільш небезпечними є стадії водно-теплового режиму, коли діють три основні джерела зволоження: волога від зимового вологонакопичення, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період (Q_1); інфільтраційна волога від атмосферних опадів (Q_2), що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу; капілярна волога (Q_3).

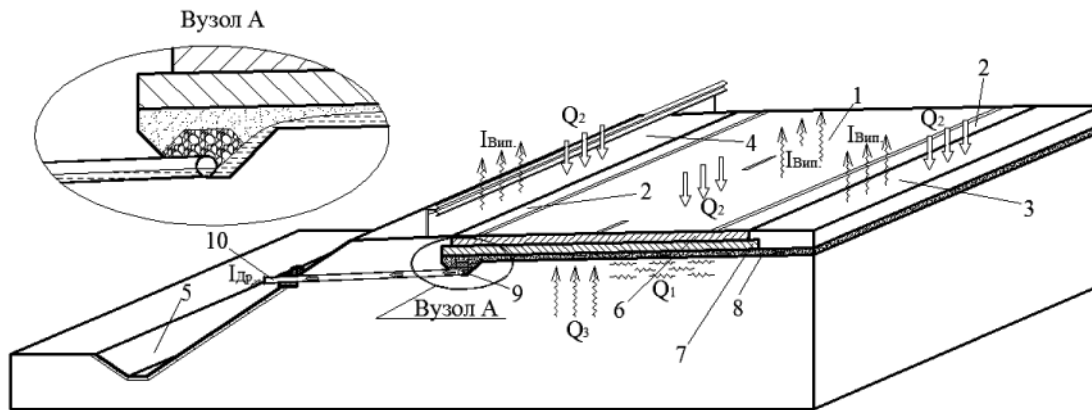


Рис.1. Джерела зволоження верхньої частини земляного полотна:

1 – проїжджа частина; 2 – укріплена частина узбіччя або розділювальної смуги; 3 – розділювальна смуга; 4 – неукріплена частина узбіччя; 5 – кювет; 6 – шари покриття дорожнього одягу; 7 – шари основи дорожнього одягу; 8 – підстильний шар основи з піску (дренуючий шар); 9 – поздовжній дренаж мілкого залягання; 10 – поперечний скид води з поздовжнього дренажу мілкого залягання.

Як правило, при розрахунках основним джерелом зволоження вважається волога від зимового вологонакопичення. Проте, враховуючи той факт, що дорожні одяги автомобільних доріг та конструкції узбічч не забезпечують повної водонепроникності, кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів може перевищувати кількість вологи від зимового вологонакопичення. З огляду на це повстає питання визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду індивідуально для кожного регіону з урахуванням режиму випадання опадів та температурних коливань.



Рис. 2. Місця проникнення вологи через покриття

Для функціонування дорожньої конструкції у сприятливих умовах водно-теплового режиму необхідно, щоб сумарний приток вологи від різних джерел зволоження (Q_1 , Q_2 , Q_3) не перевищував кількості вологи, яка випаровується ($I_{Вип}$), йде на змочування поверхонь ($I_{Зм}$) та відводиться дренажною системою ($I_{Др}$):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{Вип} + I_{Зм} + I_{Др} \quad (1)$$

У залежності від погодних умов та конструкції поперечного профілю автомобільної дороги деякі із складників нерівності (1) можуть бути відсутні.

Отже, для правильного підбору діаметру дрени та товщини і коефіцієнту фільтрації піщаного дре-

нуючого прошарку (підстильного шару основи з піску) необхідно визначити величину $I_{др}$, та забезпечити виконання нерівності (1).

Джерелом зволоження Q_3 можна знехтувати, оскільки капілярне підняття у піщаному прошарку незначне і надходження вологи від даного джерела або взагалі відсутнє, або мале у порівнянні з іншими джерелами.

Для визначення величини Q_1 можна використати залежність, приведену в [3], де визначається, що вода із земляного полотна, що розтанула, потрапляє в дренажний прошарок, якщо вологість ґрунту в результаті зимового вологонакопичення перевищує величину його повної вологоємності при потрібній щільності. Об'єм води (л/доб на 1 м² проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною, визначають за формулою:

$$Q_1 = h_1 (W_{\text{вв}} \cdot \delta_{\text{вв}} - \beta W_T \cdot \delta) \cdot \dot{E}_T \cdot \dot{E}_A \cdot 1000, \quad (2)$$

де h_1 – товщина шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу в активній зоні земляного полотна; $W_{\text{вв}}$ – розрахункова весняна вологість ґрунту земляного полотна, яка залежить від характеру вологонакопичення за осінньо-зимовий сезон в даних умовах, в частках одиниці по вазі; W_T – вологість, яка відповідає межі текучості ґрунту, в частках одиниці по вазі; β – коефіцієнт, що показує, яка кількість води утримується в порах ґрунту, ущільненого до потрібної щільності, в долях від вологості при межі текучості ґрунту; $\delta_{\text{вв}}$ – об'ємна вага скелету ґрунту при розрахунковій вологості, г/см³; δ – те саме при вологості, що дорівнює βW_T , г/см³; $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт пік; $K_{\text{г}}$ – коефіцієнт гідрологічного запасу.

Величини Q_2 , $I_{\text{вип}}$, $I_{\text{зм}}$ можна розрахувати за методикою, наведеною в [4, 5]. Кількість надходження вологи в основу проїзної частини (в м³/доб на 1 м) від атмосферних опадів визначається за залежностями:

а) інфільтрація через асфальтобетонне покриття:

$$Q_2^i = \frac{1,5 \cdot I_{\text{аі(і)}} \cdot a}{500 \cdot \dot{O}'}; \quad (5)$$

б) інфільтрація через ґрунтові узбіччя:

$$Q_2^y = \frac{1,5(I_{\text{а}} - I_{\text{у}})l}{500 \cdot \dot{O}'}; \quad (6)$$

де 1,5 – коефіцієнт нерівномірності випадання опадів у часі; a – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини, м; l – ширина узбіччя, м; T'' – тривалість розрахункового періоду, доба; $H_{\text{вп(о)}}$ – кількість води, що проникає в покриття за розрахунковий період (в мм); $H_{\text{вп}}$ – кількість води, що проникає в узбіччя за розрахунковий період (в мм);

Алгоритм розрахунку, наведений в [4, 5], дає змогу врахувати витрати на випаровування та змочування поверхонь вже на стадії розрахунку Q_2 , тому при використанні даного методу Q_2 , $I_{\text{вип}}$, $I_{\text{зм}}$ об'єднуються у величину Q_2 і залежність (1) приймає вигляд:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq Z_{\text{ад}}. \quad (7)$$

Чим коротшим буде період, прийнятий для розрахунку, тим більша буде його точність. Тому доцільно розбивати річний цикл на характерні періоди.

Визначення загальної величини надходження вологи в основу проїжджої частини авторами статті пропонується проводити в наступній послідовності:

1) будуємо графік зміни температури повітря в річному циклі. Періоди, коли температура повітря нижча за 0°C відкидаються;

2) кількість вологи, що відтискується із нижніх шарів земляного полотна та накопичується у зимовий період враховується в розрахунковий період, (протягом весняного розмерзання дорожньої конструкції) відповідно до [1];

3) визначається кількість надходження інфільтраційної вологи в основу проїжджої частини від опадів;

4) підсумовуючи отримані значення, можна отримати графік зміни загальної величини надходження вологи в основу проїжджої частини протягом року;

5) за розрахункове приймається максимальне із отриманих значень.

При розрахунку пропускної здатності кожного з елементів дренажної системи мілкого залягання слід забезпечити виконання так званої «умови неперервності» [6], яка полягає в тому, що для запобігання акумулювання води в конструктивних шарах дорожнього покриття та переповнення дренажної системи необхідно, щоб водовідвідна здатність системи підвищувалася по мірі збільшення притоку, починаючи з моменту надходження вологи і далі по шляху її руху через підстильний піщаний шар основи, трубчаті дрени та випуски.

Авторами виконано розрахунок [7] загальної величини надходження вологи в активну зону земляного полотна від різних джерел зволоження в весняний період для реально існуючого об'єкту та отримано наступні результати:

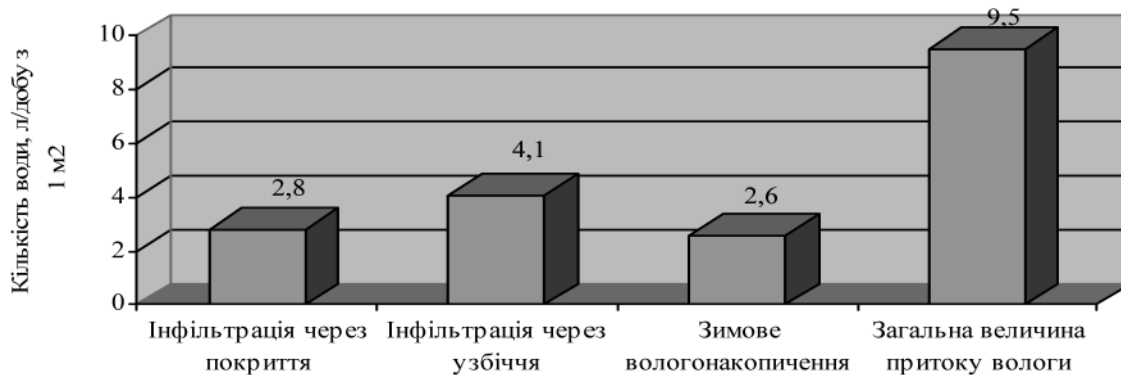


Рис. 3. Результати розрахунку загальної величини надходження вологи в активну зону земляного полотна від різних джерел

Подальша робота авторів буде полягати в розробці методів розрахунку пропускної здатності елементів дренажних систем мілкого залягання в залежності від загальної величини притоку вологи.

При розрахунку пропускної здатності окремих конструктивних складових дренажної системи мілкого залягання слід звернути увагу на те, що режими руху рідини в них відрізняються.

Піщаний шар є водопроникним і складається із окремих часток (піщинок), простір між якими заповнений порами. Як наведено в [8], рух ґрунтової води в пісках і водопроникних глинистих ґрунтах є ламінарним. Тому, якщо для розрахунку пропускної здатності підстильного шару основи з піску можна застосувати формулу Дарсі (через п'єзометричний похил, коефіцієнт фільтрації та площу перерізу) для ламінарного потоку, то рух води у дренажній перфорованій трубі відбувається за законами турбулентного потоку зі змінною масою (формули 8, 9).

Одним із основоположників теорії руху тіл зі змінною масою вважають І.В. Мещерського, який є автором ряду робіт, присвячених даній темі [9].

У загальному випадку рівняння, що описує згаданий вище рух, має вигляд:

$$M \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{F} + \frac{dM_1}{dt} (\bar{U}_1 - \bar{V}) - \frac{dM_2}{dt} (\bar{U}_2 - \bar{V}), \quad (8)$$

де $M = M_0 + M_1 - M_2$ – загальна маса матеріальної точки; M_0 – постійна величина, яка дорівнює масі матеріальної точки у певний початковий момент часу; M_1 і M_2 – відповідно, маси, які приєдналися або відділилися від матеріальної точки за певний час; \bar{F} – вектор рівнодіючої всіх зовнішніх сил, які діють на матеріальну точку; \bar{V} – вектор швидкості матеріальної точки; \bar{U}_1 і \bar{U}_2 – відповідно, вектор швидкості центра інерції мас, що приєднуються або відєднуються.

Одним із найбільш вдалих виразів для характеристики плавномірного неусталеного руху рідини зі змінною масою є рівняння, запропоноване Г.А. Петровим [10]:

$$\frac{\alpha_0}{g} \left(V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(z + \frac{P}{\rho g} \right) + \frac{\alpha_0 (V - \theta)}{gQ} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} V + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + i_f = 0, \quad (9)$$

де α_0 – коректив кількості руху (коефіцієнт Бусінеска); Q , V , P – відповідно, витрата, середня швидкість, п'єзометричний тиск на відстані x від початку труби; i_f – гідравлічний похил, викликаний дією сил тертя.

Перевагою рівняння (9) перед рівнянням (8) є те, що з його допомогою описується рух потоку рідини, а не окремих її матеріальних точок.

Дані залежності можна прийняти за основні при дослідженні процесів руху рідини у перфорованій трубі дренажу мілкого залягання та для розрахунку її параметрів.

Якщо говорити про методики розрахунків, які використовуються в інженерній практиці, то загальноприйнятими [1, 11, 12] вважаються дві принципово різні схеми розрахунку параметрів дренажних систем мілкого залягання. Перша – розрахунок за методом поглинання, друга – метод осушення.

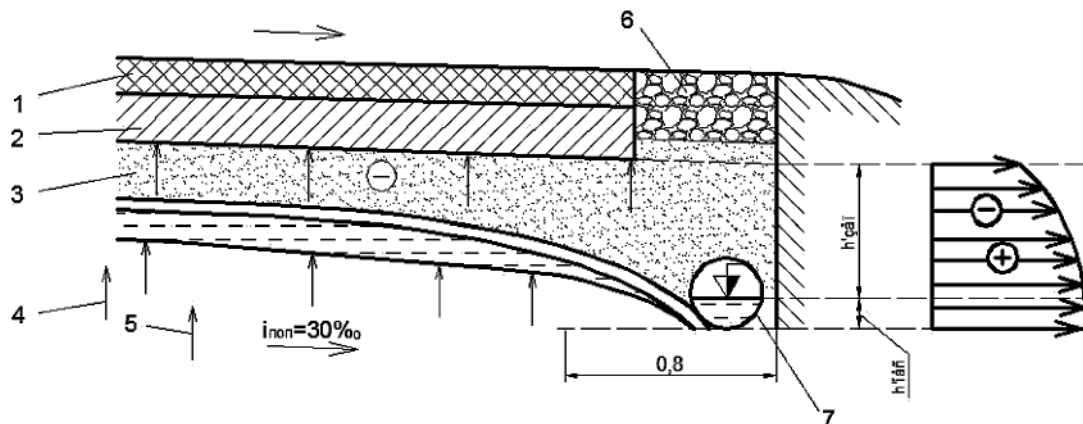


Рис. 4. Розрахункова схема дренаючого шару, який працює за методом осушення:

1 – покриття; 2 – основа; 3 – дренаючий шар; 4 – рух капілярної води; 5 – напрям надходження вільної води в дренаючий шар; 6 – крайова смуга.

Метод поглинання відображає роботу дренаючих шарів у період розтавання поперечних випусків, а також роботу шарів, з яких не передбачається відведення води. Тобто розрахований за методом поглинання дренаючий шар повинен забезпечувати розміщення всієї води, яка надходить до основи проїжджої частини в розрахунковий період.

Дренажні системи мілкого залягання, розраховані за методом осушення, призначені для відведення вологи, що надходить в розрахунковий період до основи дорожньої конструкції.

Для створення дренажу, який працює за методом осушення, передбачено використання більш якісних матеріалів для підстильного шару та додаткові затрати на влаштування поздовжніх трубчатих дрен та поперечних випусків. При використанні методу поглинання є можливим застосування місцевих матеріалів з нижчими фільтраційними показниками, проте товщина таких шарів більша.

Загальна товщина піщаного дренаючого шару визначається за формулою [1, 3]:

$$h_p = h_{іаї} + h_{цаї} , \quad (10)$$

де $h_{нас}$ – товщина шару, повністю насиченого водою, м; $h_{зап}$ – додаткова товщина шару, що залежить від капілярних властивостей матеріалу і становить для пісків грубозернистих 0,10...0,12 м, середньозернистих 0,14...0,15 м і дрібнозернистих 0,18...0,20 м.

Крім того на стадії проектування дренажної системи слід пам'ятати [11], що з часом щільність матеріалу дренаючого шару підвищується через:

- 1) ущільнення;
- 2) підвищення вмісту більш дрібних часток, що є наслідком подрібнення і перетирання найкрупніших зерен дренаючого матеріалу;
- 3) забруднення ґрунтовими частками, які рухаються разом з водою у зваженому вигляді.

Автори статті пропонують загальну товщину піщаного прошарку визначати з урахуванням зменшення фактичної товщини піщаного шару Δh , яке можна розрахувати за емпіричною формулою [12]:

$$\Delta h = \frac{NTK_N v_B}{N_p} \quad (11)$$

де N – перспективна середньорічна вантажна напруженість, млн. брутто-тон; T – перспективний строк служби дорожніх одягів; K_N – коефіцієнт, що характеризує відставання швидкості взаємопроникнення при збільшенні вантажнапруженості; N_p – вантажнапруженість, млн. брутто-тон; v_B – швидкість взаємопроникнення піщаного шару і ґрунту земляного полотна, що виражається в мм/год, з розрахунку вантажнапруженості на одну смугу руху в розмірі $N_p = 1$ млн. брутто-тон.

Величина $h_{нас}$ у випадку розрахунків за методом поглинання і осушення розраховується по різному.

При розрахунку дренаючого шару за методом осушення основне рівняння для визначення розрахункового максимального значення глибини фільтраційного потоку в дренаючому шарі має наступний вигляд [11, 12]:

$$h_{i\grave{a}\grave{n}} = l \left[\sqrt{\left(\frac{h_2}{l}\right)^2 - i\left(\frac{h_2}{l}\right) + C_{\zeta\grave{a}.}} \right] \times \exp \left[-\frac{i}{2a} \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{h_2 - i}{a} \right) \right], \quad (12)$$

де i – проектний похил корита, в сотих долях одиниці; h_2 – допустима глибина шару води біля краю корита (звичайно не перевищує 0,05 м), м; l – відстань від осі дороги до перерізу, що розглядається, м; $C_{\zeta\grave{a}.}$ – ступінь зволоження, рівна:

$$C_{\zeta\grave{a}.} = \frac{Q_{\zeta\grave{a}\grave{a}}}{K}, \quad (13)$$

де K – коефіцієнт фільтрації піску, м/добу; $Q_{\zeta\grave{a}\grave{a}}$ – загальний питомий надлишок води, м³/добу з 1 м² проїжджої частини; a – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$a = \sqrt{C_{\zeta\grave{a}.} - \left(\frac{i}{2}\right)^2}. \quad (14)$$

Слід зауважити, що шар, який працює за принципом осушення, також перевіряють на роботу за принципом поглинання в період розтавання поперечних випусків. Відповідно до [11], на дорогах з добре організованою службою утримання при осушенні дренаючого шару трубчатими дренами тривалість розтавання поперечних випусків води приймають рівною не менше трьох діб при удосконалених типах покриттів, і не менше двох – при перехідних.

Згідно з [3], для забезпечення тимчасового розміщення води в піску в початковий період розтавання товщину дренаючого шару визначають за формулою:

$$h_{i\grave{r}\grave{+}} = h_{i\grave{a}\grave{n}} + h_{\zeta\grave{a}\grave{i}} = \frac{1}{1 - \varphi_{\zeta\grave{e}\grave{i}}} \left[\frac{Q}{n} + h_{\zeta\grave{a}\grave{i}} \cdot (1 - \varphi_{\grave{e}}) \right], \quad (15)$$

де $\varphi_{\zeta\grave{u}\grave{m}}$ – коефіцієнт заповнення вологою пор в матеріалі дренаючого шару до початку розтавання (залежить від товщини шару і пористості матеріалу); $Q = q_p \cdot t_{\zeta\grave{a}\grave{n}}$ – кількість води (м³/м²), яка накопичилася в дренаючому шарі за час запізнення початку роботи водовідвідних пристроїв ($t_{\zeta\grave{a}\grave{n}}$); змінюється в межах від 3 до 6 діб; n – пористість матеріалу в ущільненому стані, в частках одиниці; $\varphi_k = 0,7$ – коефіцієнт заповнення пор капілярною водою в запасній частині піщаного шару.

Цьому ж питанню приділяється увага в [12]. Тут йдеться про те, що ранньою весною дренаючий шар розтає нерівномірно. Тому при наявності трубчатих дрена, які знаходяться деякий час ще в замерзлому стані, робота дренаючого шару більш повно враховується методом поглинання. Але нерідко при мерзлому ще стані поперечних скидів випадають рідкі опади, які сприяють додатковому зволоженню дренаючого шару. Тоді на початку розрахункового періоду в ньому можлива наявність вільної води глибиною (в см) [11, 12]:

$$h_{i\grave{a}\grave{n}} = \frac{Q_{\zeta\grave{a}\grave{a}} \cdot T}{q_3 - q_2}, \quad (16)$$

де $Q_{\zeta\grave{a}\grave{a}}$ – загальний питомий надлишок води, м³/добу з 1 м² проїжджої частини; q_3 – кількість вільної води, яка поглинається дренаючим шаром товщиною в 1 см на площі 1 м² (визначається експериментально), м³/м² за добу; q_2 – те саме, але при капілярній вологоємкості (визначається експериментально), м³/м² за добу; T – час розмерзання випусків та дрена, доба.

Відповідно до [11, 12], час T приймають рівним не менше трьох діб при удосконалених типах покриттів, і не менше двох – при перехідних.

Підбір внутрішнього діаметру труби виконується в наступній послідовності [13]:

1) Визначаємо сумарну витрату води в дренажі:

$$Q_{\text{д}} = (Q_1 \cdot a \cdot v_1 + Q_2 \cdot v_2) \cdot m_T \cdot L_{\text{д}}, \quad (17)$$

де $L_{\text{д}}$ – довжина дренажу як водозбору (довжина ділянки), м; m_T – коефіцієнт, який враховує можливість поступового забруднення труби (приймають $m_T = 1,5$); a – ширина односкатної або половини двоскатної проїжджої частини, м; Q_1 – об'єм води ($\text{м}^3/\text{доб}$ на 1 м^2 проїжджої частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями; Q_2 – кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів, що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу (в $\text{м}^3/\text{доб}$ на 1 м); v_1 – коефіцієнт, що дорівнює 1 в період розтавання дорожньої конструкції весною; або дорівнює 0, якщо розрахунковий період не співпадає з періодом, коли вода, яка накопичується у зимовий період, відтискається із нижніх шарів земляного полотна в дренажний шар; v_2 – коефіцієнт, що дорівнює 1 в розрахунковий період з дощами; або дорівнює 0, коли розрахунковий період припадає на дні без дощів.

2) Призначається внутрішній діаметр труби.

3) Після приблизного визначення діаметра труби робимо перевірочний розрахунок з урахуванням того, що дренажна труба повинна працювати в безнапірному режимі:

$$Q_{\text{д}} = \omega_T V, \quad (18)$$

де $Q_{\text{д}}$ – розрахована витрата води в трубі, $\text{м}^3/\text{с}$; ω_T – площа живого перетину потоку у трубі, м^2 ; V – швидкість руху рідини, м/с.

4) Визначивши всі розрахункові величини, необхідно порівняти величини $Q_{\text{д}}$ та $Q_{\text{пр}}$. Розрахунок закінчуємо при умові, що $2 \cdot Q_{\text{д}} \leq Q_{\text{пр}}$. При $2 \cdot Q_{\text{д}} > Q_{\text{пр}}$ необхідно зробити перерахунок на новий, більший діаметр.

Ще одним важливим параметром є час роботи дренажної системи. Особливого значення він набуває в районах з холодним кліматом, де промерзання поширюється на значні глибини і дренажну систему слід проектувати так, щоб час витікання води з неї не перевищував допустимої межі.

В [6] пропонується тривалість 50%-вого водовідведення при влаштуванні в дренажному шарі основи закромкових дрен визначати за формулою:

$$t = \frac{n_e \cdot D^2}{\hat{E}_1 \cdot \hat{E}_2 \cdot k_{\phi} \cdot H_0}, \quad (19)$$

де K_1 – безрозмірний емпіричний коефіцієнт ($K_1 = 2880$); K_2 – коефіцієнт для переведення одиниць вимірювання коефіцієнту фільтрації з м/с в фут/хв. ($K_2 = 196,455$); n_e – активна пористість основи; D – ширина схилу основи; k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації основи, м/с; H_0 – гідрометричний похил основи, $H_0 = H + s \cdot D$; H і s – відповідно товщина і поперечний похил основи.

Таким чином, для правильного розрахунку дренажної системи мілкового залягання слід враховувати погодно-кліматичні особливості регіону, «умову неперервності» роботи дренажної системи, забезпечити відведення води за час, який не перевищує допустимий, а також той факт, що щільність матеріалу дренажного шару підвищується з часом. Необхідно враховувати режими протікання рідини в кожному із конструктивних елементів.

На основі наведеного вище аналізу, його узагальнення та доопрацювання, авторами статті в рамках виконання науково-дослідної роботи за тематичним планом Державної служби автомобільних доріг України розроблено методику визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкового залягання з урахуванням річного циклу роботи, використання якої планується при проектуванні дренажних систем мілкового залягання.

Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
2. Дренажные устройства земляного полотна автомобильных дорог общей сети Союза ССР / Типовые проектные решения. 503-0-43. Разработаны ГПИ «Союздорпроект» Главтранспроекта Минтрансстроя. Введены в действие 10.06.1981 г.

3. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). – М., 1974.
4. Предложения по совершенствованию дренажа автомобильных дорог в выемках / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). – Балашиха Московской области, 1969.
5. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна / на основе регулирования водно-теплового режима/ – М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
6. Седергрэн Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
7. Славінська О.С., Стьошка В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Ч. 1. – Вип. 3 (47). – С. 488–495.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. (Учебник для вузов). – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.
9. Мещерский И.В. Динамика точки переменной массы. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952.
10. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути. // Известия НИИГ. – 1940. Вып. 28. – С.63–72.
11. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд /Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 413 с.
12. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
13. Дренажные сооружения железнодорожного земляного полотна. – М.: Транспорт, 1976. – 88 с.

УДК 628.21

В.М. ЖУК, кандидат технічних наук
Національний університет “Львівська політехніка”

СУЧАСНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОЩОВИМ СТОКОМ НА ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

У роботі представлено літературний огляд сучасних систем управління дощовим стоком на забудованих територіях; виконано їх класифікацію за принципом роботи, проаналізовано переваги та недоліки найпоширеніших на практиці методів. Окреслено проблеми, що мають місце при моделюванні роботи систем дощового водовідведення.

Ключові слова: управління дощовим стоком, забудована територія, гідрограф притоку.

В работе представлен литературный обзор современных систем управления дождевым стоком на застроенных территориях; выполнена их классификация по принципу работы, проанализированы преимущества и недостатки наиболее распространенных на практике методов. Рассмотрены проблемы, имеющие место при моделировании работы систем дождевого водоотведения.

Ключевые слова: управление дождевым стоком, застроенная территория, гидрограф притока.

The literature review of contemporary stormwater management practices at the urbanized watersheds is presented in the paper. It is fulfilled the classification of these methods depending their principle; there are analyzed the advantages and lacks of the best management practices. Problems of the stormwater sewerage system modeling are considered.

Key words: stormwater management, urbanized watershed, runoff hydrograph.

Постановка проблеми

Чиста прісна вода є одним із найважливіших природних ресурсів, необхідних для сталого розвитку людства. Гострий дефіцит прісної води у одних регіонах світу та катастрофічні повені в інших, висока забрудненість поверхневого стоку та великі гідравлічні навантаження як на системи водовідведення, так і на відкриті водойми, обумовлюють активний пошук ефективних шляхів управління дощовим стоком, очищення та раціонального використання поверхневих стічних вод. Важливість проблем підкреслює те, що ООН оголосила 2005–2015 роки Міжнародним десятиліттям дій "Вода для життя" [1].

Істотні зміни в гідрологічному балансі міських територій відбуваються внаслідок постійного збільшення площ із водонепроникними покриттями (дахи будинків, дороги, тротуари та ін.) та відповідного зменшення природної фільтрації ґрунтів. Збільшення об'єму дощового стоку у відкриті водойми, висока забрудненість територій міст і промислових підприємств забрудненнями техногенного характеру спричиняють перевантаження існуючих каналізаційних систем, зниження ефективності їхньої роботи, підтоплення території міст, погіршення санітарного стану водойм, куди скидаються дощові стоки [2, 3]. Для вирішення цих питань необхідно виконувати комплексне регулювання дощового стоку.

Метою роботи є аналіз найпоширеніших у світовій інженерній практиці систем управління дощовим стоком на забудованих територіях.

Сучасні методи управління дощовим стоком

Регулювання дощового стоку сьогодні стало важливою державною задачею у таких країнах як США, Канада, Німеччина, Великобританія, Австралія та інших. У західній науковій і технічній літературі міцно закріпився термін "управління дощовими стічними водами". Як відзначають аналітики, однією з основних особливостей управління водними ресурсами міста є те, що ситуація, з якою стикається кожне окремо взяте місто, навіть у тій самій країні та у тому ж регіоні, є унікальною.

Теоретичним та експериментальним дослідженням формування та регулювання стоку дощових вод з урбанізованих територій займалися Адамс Б., Акан О., Алексєєв М.І., Бабченко І.В., Белов М.М., Большаков В.О., Горбачев П.Ф., Гуо Дж., Джеймс В., Дзьопак Й., Дикаревський В.С., Каліцун В.І., Китаєв А.Л., Корінько І.В., Курганов А.М., Пантелят Г.С., Хортон Р., Хубер В., Шулер Т., Ярошенко Ю.В. та ін. [4–9].

При проектуванні нових і реконструкції існуючих систем дощового водовідведення сьогодні важливо відійти від принципу: "якомога швидше зібрати поверхневі стічні води, доправити їх на очищення і скинути у водойму". Набагато ефективнішими є заходи з регулювання та використання дощового стоку. У США вже більше 20 років діють нормативні вимоги, що обмежують зростання об'єму та максимальної витрати поверхневого стоку після забудови місцевості.

Україна знаходиться у зоні помірно-континентального клімату і діапазон зміни середнього річного шару опадів на території нашої держави порівняно невеликий: в середньому від 400...500 мм опадів на рік для південних, південно-східних областей і Криму до 800...1000 мм для Прикарпаття і Закарпаття. Проте наявний територіальний дисбаланс запасів прісної води, різна густина населення та концентрація промислових об'єктів вже сьогодні обумовлюють гостру нестачу води у східних областях держави, а західні області регулярно потерпають від повеней [10]. Слід відзначити, що Україна за ступенем водозабезпечення посідає одне з останніх місць серед європейських країн, тоді як за водоємністю валового національного продукту є однією з перших. Запаси місцевих водних ресурсів в Україні становлять близько 1100 м³ річкового стоку на людину на рік. Для порівняння, у Німеччині і Швеції – 2500 м³, Франції – 3500 м³, Великобританії – 5000 м³, у Білорусі – 5700 м³, в європейській частині Росії – 5900 м³ [11].

В Україні на практиці питанням регулювання, очищення та використання дощового стоку наразі приділяється мало уваги. Більшість великих міст України мають загальносплавну або комбіновану систему водовідведення. Як відомо, у загальносплавній системі гідравлічне навантаження на каналізаційні мережі та споруди різко зростає під час дощів (до 10 разів), що обумовлює тимчасове переповнення водовідвідних мереж та перевантаження каналізаційних очисних споруд (КОС). У багатьох малих містах України системи дощового водовідведення частково або повністю відсутні. Вітчизняні та закордонні дослідження якісного складу поверхневого стоку показали, що за багатьма

показниками забруднення він наближається, а часом і перевищує відповідні показники для господарсько-побутових стічних вод [2, 3]. Неочищений поверхневий стік є загрозою як для екологічного стану території населеного пункту, так і для стану відкритих водойм. Часто пропонується збільшувати потужність КОС, щоб забезпечити очищення суміші господарсько-побутових, виробничих та поверхневих стічних вод при розрахунковому дощі. Проте, детальний аналіз показує, що цей шлях у більшості випадків є неефективним. Значно доцільніше та економічно вигідніше виконувати регулювання дощового стоку як на вході в очисні споруди, так і по всій території басейна каналізування. Управління дощовим стоком дозволяє більш раціонально використовувати водні ресурси, покращує експлуатаційні показники системи водовідведення та нормалізує гідрологічний режим річки, в яку відбувається скид очищених стічних вод.

На сьогодні відомо біля двох десятків експлуатаційних практик у сфері дощового водовідведення, з яких найпоширенішими є: встановлення накопичувальних та регулювальних резервуарів дощових стічних вод (РДСВ); будівництво ексфільтраційних споруд (ям, траншей, басейнів тощо); влаштування пористого удосконаленого покриття і зелених дахів, спеціальних ставків, штучних мочар тощо. У табл. 1 представлено класифікацію методів управління дощовим стоком залежно від принципу їх роботи.

Деякі методи передбачають комплексне застосування всіх трьох принципів в одній споруді. У табл. 2 зведено основні переваги та недоліки різних методів управління дощовим стоком.

Таблиця 1

Класифікація методів управління дощовим стоком за принципом роботи

Назва споруди	Принцип роботи		
	накопичення	тимчасове затримання	фільтрація
Дощові баки, цистерни; накопичувальні резервуари	+		
Регулювальні резервуари		+	
Ексфільтраційні споруди			+
Зелені дахи		+	+
Підвищена шорсткість даху; виступи і гравійна засипка		+	
Пористі удосконалені покриття			+
Відкриті території та газони; рослинні смуги; засаджені травою канави та ями		+	+
Біонакопичувальні ємності (відкриті стави), штучні мочари	+		+
Мікроландшафтне моделювання; тераси	+	+	+

Одним із найпоширеніших засобів регулювання дощового стоку є використання резервуарів дощових стічних вод (РДСВ) різних типів. За допомогою РДСВ можливе накопичення чи тимчасове затримання поверхневого стоку, що дозволяє зменшити розмір колекторів, продуктивність насосних станцій та очисних споруд, підвищує надійність роботи та екологічну безпеку систем дощового водовідведення.

На сьогоднішній день у світовій інженерній практиці розроблено та використовується цілий ряд конструкцій багатосекційних РДСВ: з послідовним, паралельним з'єднанням камер, багаторівневі тощо [3, 4, 5]. РДСВ забезпечують накопичення води, вони займають мало місця, земля над резервуаром може використовуватися на інші потреби, що дуже важливо в умовах щільної міської забудови. Для регулювання об'ємної витрати на виході з РДСВ використовуються так звані вихідні пристрої,

наприклад, типу Hydroslide [12]. Перспективним рішенням є резервуари-колодязі, наприклад, типу Stormceptor [13], за допомогою яких здійснюється регулювання витрати, а також попереднє очищення найбільш забрудненої першої порції стоку.

Таблиця 2

Порівняння різних методів управління дощовим стоком

Назва методу або споруди	Переваги	Недоліки
Дощові баки, цистерни, накопичувальні резервуари	Накопичення та економія води; займають мало місця; земля над резервуаром може використовуватися на інші потреби.	Висока вартість встановлення та експлуатації; порівняно невелика ємність.
Регулювальні резервуари	Затримання стоку, зменшення максимальної витрати; попереднє очищення стоку.	Висока вартість будівництва та експлуатації.
Ексфільтраційні споруди	Зменшення об'єму стоку та максимальної витрати; поповнення запасів ґрунтових вод; очищення поверхневого стоку.	Забивання фільтраційного середовища в часі; загроза забруднення ґрунтових вод.
Зелені дахи	Зменшення об'єму стоку та максимальної витрати; затримання стоку в часі; естетичний вигляд; очищення повітря; терморегуляція; протипожежний аспект.	Збільшення навантаження на будівельні конструкції; можливе засмічення системи та протікання даху; проблема замерзання взимку.
Підвищена шорсткість даху; виступи і гравійна засипка	Затримання стоку.	Додаткова вартість влаштування та збільшення будівельного навантаження.
Пористі удосконалені покриття	Зменшення об'єму стоку; поповнення запасів ґрунтових вод; очищення поверхневого стоку.	Висока будівельна і експлуатаційна вартість; можливе забивання, ущільнення ґрунту; загроза забруднення ґрунтових вод; спучування покриття при його замерзанні.
Відкриті території та газони; рослинні смуги; засаджені травою канави та ями.	Затримання стоку; деяке зменшення об'єму стоку; естетичний вигляд; очищення поверхневого стоку.	Потреба в значних земельних площах; питання безпеки; великі експлуатаційні видатки.
Біонакопичувальні ємності (відкриті стави); штучні мочари	Можливість регулювання стоку з великих площ; естетичний вигляд; багатофункціональність; очищення поверхневого стоку; потенційне збільшення вартості земельної ділянки.	Вимагають великих площ землі; можливе забруднення ставів та евтрифікація; місце розмноження комах та шкідників; проблеми безпечної експлуатації.
Мікрolandшафтне моделювання; тераси	Затримання та зменшення об'єму стоку; естетичний вигляд; зменшення забруднень; економія води.	Висока вартість проектування, будівництва та експлуатації.

Великого поширення у світі набули фільтраційні методи управління дощовим стоком. Принцип їх роботи полягає у ексфільтрації поверхневого стоку в ґрунт з використанням ексфільтраційних ям, траншей, трав'янистих низовин, рослинних фільтрувальних смуг, систем перфорованих трубопроводів [3, 5]. Перспективним методом є влаштування водопроникних удосконалених поверхонь типу пористого асфальту та пористої бруківки.

Останні два десятиліття активно досліджується та широко впроваджується екологічно чистий метод регулювання дощового стоку з використанням систем зелених дахів. Цей метод полягає у влаштуванні на дахах будівель зелених насаджень, основна функція яких полягає у зменшенні об'єму дощової води, що стікає з дахів під час сильних опадів. Вода частково затримується в ґрунтовому субстраті зеленого покриття, поглинається рослинами та повертається в атмосферу через випаровування. Дослідження показують, що зелені дахи затримують від 40 до 80% річного об'єму дощового стоку, а максимальну витрату зменшують до десяти разів та відтягують її настання в часі [14]. Додатковими важливими перевагами зелених дахів є покращення естетичного вигляду міської території, очищення повітря, термічне регулювання мікроклімату в приміщеннях (охолодження влітку та утеплення взимку).

Управління дощовим стоком великих міст передбачає комплекс мереж і споруд. Відтак, моделювання роботи систем дощового водовідведення пов'язане з вирішенням комплексу нестационарних гідродинамічних, масообмінних та теплообмінних задач, які ускладнюються стохастичним характером випадання дощів та величезною кількістю часткових факторів, які впливають на процеси формування дощового стоку, його організованого відведення, очищення та використання.

Аналіз літературних джерел показує, що на сьогоднішній день у світі немає єдиного загально-визнаного наукового підходу до гідравлічного розрахунку мереж і споруд дощового водовідведення. Існуючі теоретичні методи базуються на суттєвих спрощеннях і частково чи повністю не враховують цілу низку факторів, які мають вплив на розглядувані гідравлічні процеси. У різних країнах використовується велика кількість суто емпіричних методів, які, як правило, зовсім теоретично не обґрунтовані та мають вузький діапазон застосування. Тому поглиблення теоретичних засад та встановлення закономірностей, що характеризують течії дощових стічних вод по території басейна водостоків, у відкритих та закритих водовідвідних мережах та в спорудах дощового водовідведення з урахуванням розрахункових параметрів дощу, конфігурації, висотної схеми та гідравлічних характеристик території басейна стоку, а також реальної конфігурації водовідвідних лотків, каналів і труб та конструктивних особливостей споруд для затримання, регулювання чи очищення дощового стоку є актуальною науковою проблемою, яка має важливе значення для підвищення ефективності та надійності роботи систем водовідведення.

Перш за все, при проектуванні споруд дощового водовідведення виникає питання щодо об'єму поверхневого стоку від розрахункового дощу. Порівняння розрахунку об'єму за прийнятою в Україні методикою [15] та за найчастіше використовуваними закордонними методиками (зокрема, методикою SCS USDA США [16]) показує суттєву (до 20% і більше) розбіжність у значеннях коефіцієнта стоку, який враховує втрати води від розрахункового дощу на початкове затримання, інфільтрацію та випаровування [17].

При моделюванні гідрографів притоку дощових стічних вод мають бути максимально повно враховані географічні, топогеодезичні та інші особливості об'єкта проектування. Для визначення розрахункової витрати дощового стоку та часу поверхневої концентрації використовується значна кількість методів, переважна більшість з яких – це емпіричні методи, які базуються на даних, отриманих експериментальним дослідженням певних специфічних басейнів стоку і справедливі лише для таких басейнів. У діючих методиках побудови гідрографів не враховується конфігурація басейна стоку в плані, висотна схема басейна (у всіх випадках басейн стоку приймається у вигляді плоскої поверхні з постійним у всіх точках похилом у бік розрахункового перерізу).

Актуальним є також удосконалення методів гідравлічного розрахунку регульовального об'єму РДСВ та інших ємнісних споруд. Однією з проблем при їх проектуванні є відсутність у вітчизняній практиці методики розрахунку багатосекційних РДСВ. У діючих методиках розрахунку односекційних РДСВ прийнято багато спрощень та наближень: не береться до уваги конфігурація басейна стоку в плані, не враховується ряд конструктивних параметрів РДСВ, які мають суттєвий вплив на значення коефіцієнта регульовального об'єму (зокрема, коефіцієнт зміни напору, безрозмірний діаметр відвідного трубопроводу).

Висновки

У роботі виконано класифікацію сучасних систем управління дощовим стоком із забудованих територій за принципом їх роботи, проаналізовано переваги та недоліки найпоширеніших на практиці

методів. Поставлено задачі комплексного моделювання гідравлічних процесів у мережах і спорудах дощового водовідведення з урахуванням ряду нових топогеодезичних і конструктивних параметрів.

Список літератури

1. Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. // UNESCO-WWAP 2006. – UNESCO, Berghahn Books. – 2006. – 601 p.
2. Алексеев М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие. / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. – М.: Изд-во АСВ: СПбГАСУ, 2000. – 352 с.
3. Mays L.W. Stormwater collection systems design handbook / L.W. Mays. – McGraw-Hill Professional, 2001. – 1008 p.
4. Dziopak J. Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych. / J. Dziopak. – Kraków: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografia 125, 1992.– 214 s.
5. Debo T.N. Municipal storm water management / T.N. Debo, A.J. Reese. – Lewis Publishers. – 1995. – 1154 p.
6. Schueler T.R. A Current assessment of urban best management practices. / T.R. Schueler. – Metropolitan Washington Council of Governments. – 1992.
7. Бабченко І.В. Розподільчі камери нового типу в системах водовідведення / Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.04. Харківський держ. техн. ун-т будівництва та архітектури. – Х.: 2004. – 17 с.
8. Китаєв А.Л. Акумулявання, очистка та використання поверхнево-зливового стоку з територій промислових підприємств/: Автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.23.04. Харківський держ. техн. ун-т будівництва та архітектури. – Х.: 1997. – 18 с.
9. Ярошенко Ю.В. Склад, властивості, технологія кондиціонування та використання поверхнево-зливового і талого стоків / Стосовно міст та промислових підприємств/: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.04. Харківський держ. техн. ун-т будівництва та архітектури. – Х.: 2000. – 19 с.
10. Будз О.П. Максимальні витрати води весняної повені на річках Північно-Західного регіону України: Дис... канд. техн. наук: 05.23.16 / Рівненський держ. технічний ун-т. – Рівне, 1999. – 142 с.
11. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання у 2007 році // Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. – К., 2008. – 563 с.
12. Steinhardt Hydroslide. Discharge regulators for all ranges of application / Steinhardt GmbH, Taunusstein, 2004.
13. The stormceptor system for stormwater quality improvement. Owner's Manual. – Stormceptor, 2000.– 14 p.
14. Green roofs for stormwater runoff control / [Berghage R.D., Beattie D., Jarrett A.R. and oth.] // EPA/600/R-09/026. – Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory. U.S. EPA, 2009. – 81 p.
15. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. – М.: ВНИИ "ВОДГЕО" Госстроя СССР, 1982.
16. Urban Hydrology for Small Watersheds // United States Department of Agriculture. TR 55, 210-VI-TR-55, Second Ed., June 1986. – 164 p.
17. Жук В.М. Методи розрахунку об'єму дощового стоку / В.М. Жук, І.І. Матлай // Вісник Нац. у-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація". – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2010. – № 677. – С. 32–38.

УДК 628.14

Є.І. ПАВЛОВ, кандидат технічних наук

О.М. ЛІФАНОВ, кандидат технічних наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

Д.А. ІСАЕВ, інженер

ТОВ«Укрелітгазмонтаж»

КОНСТРУЮВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ КАМЕР НА ДОЩОВІЙ МЕРЕЖІ КАНАЛІЗАЦІЇ

Проведений аналіз співвідношення кількості дощових стоків, що потрапляють до розподільної камери, до кількості забрудненого і умовно-чистого дощових стоків, що відводяться від неї. В залежності від цього приводиться співвідношення діаметрів труб розподільної камери.

Ключові слова: розподільна камера; інтенсивність дощу; умовно-чистий стік, забруднений стік.

Проведен анализ соотношения количества дождевого стока, который поступает к разделительной камере, к количеству загрязненного и условно-чистого дождевых стоков, которые отводятся от нее. В зависимости от этого приведено соотношение диаметров труб разделительной камеры.

Ключевые слова: разделительная камера, интенсивность дождя, условно-чистый сток, загрязненный сток.

It is drawing analysis of correlation of quantity sewage from rain that is receiving for separating chamber, to quantities pollution and conventional-cleaner sewage from rain, that allotting from this chamber. In dependence from this in the article are leading correlation diameters of piper of separating chamber.

Key words: sewage, separating chamber, intensive of rain, conventional-cleaner sewage, pollution sewage.

Питання, пов'язані з екологією, останнім часом привертають все більше уваги. Особливої актуальності вони набувають при проектуванні, будівництві та реконструкції каналізаційних мереж. В санітарному відношенні найкращою системою каналізації є напівроздільна, оскільки вона дає можливість всі категорії забруднених стічних вод відвести за межі населеного пункту і тільки після очистки випускати їх у водоймище. Характерним для такої системи каналізації є те, що при дощах невеликої інтенсивності атмосферні води, що змивають бруд з поверхонь вулиць, спрямовуються разом з побутовими стічними водами на очисні споруди, а при дощах великої інтенсивності та зливах основна маса атмосферної води не потрапляє в побутову мережу, а скидається через зливоскиди в водоймище без очистки [1].

Поверхневий стік характеризується значним забрудненням. Проведені дослідження [2] показали, що поверхневий стік має в середньому за період дощу концентрацію завислих речовин 600 мг/л, БСКповн. 60 мг/л та вміст нафтопродуктів біля 20 мг/л, причому максимальна концентрація забруднень в поверхневому стоці спостерігається на початку дощу і може перевищувати середню в десятки разів [3]. На підставі наведеного зрозуміло, що частина дощової води повинна спрямовуватися до загальносплавного колектора і далі – на очисні споруди [4, 5]. Зрозуміло, що для організації відділення забрудненого дощового стоку від умовно чистого в напівроздільній системі каналізації влаштовуються так звані розподільні камери [4, 5, 6]. В цих камерах забруднений дощовий стік спрямовується до господарсько-побутової каналізації, де відбувається його змішування з побутовим стоком з подальшим транспортуванням до очисних споруд. Це відповідає вимогам нормативів [1], відповідно з якими не менше 70% річного поверхневого стоку з територій, на яких проживає населення, повинно спрямовуватися на очисні споруди через розподільні камери.

Для з'ясування кількості дощових і талих вод, які необхідно очищувати, введено поняття «граничного» дощу. Під «граничним» дощем розуміється дощ такої інтенсивності, весь стік від якого (q_{lim}) необхідно спрямовувати на очисні споруди. При визначенні «граничних» витрат прийнято виходити з повторюваності дощу від 10 до 20 разів на рік, тобто $P_{lim} = 0,6 \dots 0,1$ [1].

Розрахункові витрати дощового стоку визначаються за методом граничних інтенсивностей [1] по формулі

$$q_r = \frac{z_{mid} \cdot A^{1,2}}{t_r^{1,2n-0,1}} \cdot F \quad (1)$$

Різниця у витратах між «розрахунковим» дощем і «граничним» залежить, при інших рівних умовах, від параметру A , який в свою чергу підраховується за формулою:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma \quad (2)$$

Аналізуючи останню залежність, приходимо до висновку, що величина параметру A є функцією, що залежить від періоду однократного перевищення розрахункової інтенсивності дощу P . Всі інші величини, що входять до формули (2) приймаються за вимогами нормативів [1] в залежності від конкретного регіону країни. Тому це і дає можливість стверджувати наведене положення що $A=f(P)$. Відповідно з [1, 5] для розрахункового дощу $P=1$, а для «граничного» дощу $P_{lim}=0,05...0,1$ (середнє значення $P_{lim}=0,075$). В залежності від наведеного, в таблиці 1 підраховано параметр A за формулою (2) для різних зон України для «розрахункового» і «граничного» дощів.

Таблиця 1

Значення параметру A для різних зон України

Зона України	Інтенсивність дощу, q_{20} , л/с на га.	Показники ступеню		Середня кількість дощів на рік m_p	Параметр A при		Співвідношення
		n	γ		$P_{lim}=0,075$	$P=1$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Центральні та північні області України	100	0,64	1,54	110	198	680	4,4
2. Захід України	95	0,59	1,68	90	130	556	5,7
3. Схід України	95	0,57	1,82	60	84	524	9,0
4. Крим	100	0,57	1,82	60	89	551	8,9

З урахуванням вищенаведеного, при підрахунку витрат дощових вод по залежності (1) для конкретної місцевості параметри z_{mid} , t та F будуть незмінними, тому можемо позначити їх як

$$K = \frac{z_{mid}}{t^{1,2n-0,1}} \quad (3)$$

Враховуючи це співвідношення, витрати від «розрахункового» дощу становитимуть

$$q_r = K \cdot A_{(p=1)}^{1,2} \cdot F \quad (4)$$

а від граничного дощу

$$q_{lim} = K \cdot A_{(p=0,075)}^{1,2} \cdot F \quad (5)$$

Співвідношення цих витрат $\frac{q_r}{q_{lim}}$ буде дорівнювати

$$\frac{q_r}{q_{lim}} = \left(\frac{A_{(p=1)}}{A_{(p=0,075)}} \right)^{1,2} \quad (6)$$

Числові значення цього співвідношення наведені в останньому стовпчику таблиці 1, звідки видно що для сходу України і Криму витрати від «розрахункового» і «граничного» дощів, що поступають до розподільної камери, різняться в 9 разів. Для рівнинних областей і заходу України це співвідношення

становить близько 5,5 разів.

Відомо багато конструкцій розподільних камер [3, 5, 6]. Розглянемо принцип роботи однієї з найпростіших камер, що показана на рис.1. Загальний дощовий стік (q_r) потрапляє в камеру по трубі 1 і по лотку 4 спрямовується до відповідної труби 2, що з'єднана з господарсько-побутовою каналізацією. Пропускна здатність цієї труби повинна становити q_{lim} . По скидній трубі 3 відводиться умовно-чистий дощовий стік.

Умовно-чистий дощовий стік переливається через бокову стінку 5 лотка 4. Стінка 5 працює як водоскид. Висота стінки лімітується діаметром відповідної труби 2 і її висота h дорівнює d_2 по всій довжині розподільної камери.

Для запобігання впливу потоку, що скидається через водоскид 5 як умовно чистий, на потік, що відводяться в побутову каналізацію по трубі 2, водоскид повинен бути не підтопленим. Тому висота перевищення гребеню водоскиду 5 над лотком скидної труби 3 повинна бути не менше

$$H > d_2 + d_3 \quad (7)$$

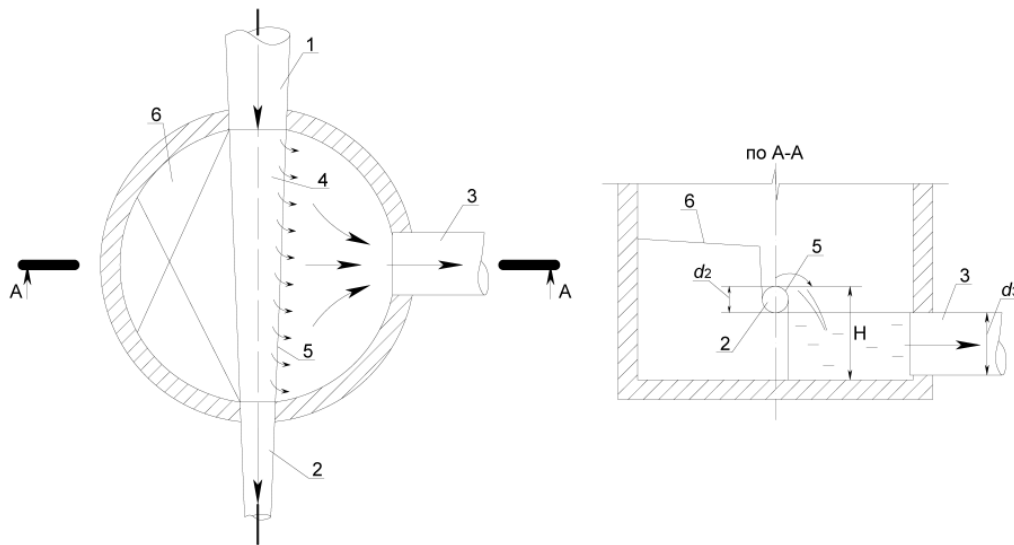


Рис.1. Конструкція розподільної камери

Відповідно з даними табл.1 і формулою (6) в таблиці 2 підраховані співвідношення витрат, що відводяться в побутову каналізацію по трубі 2 і скидаються як умовно-чисті по трубі 3, до загальних дощових витрат (q_r), що потрапляють до розподільної камери по трубі 1. Ці співвідношення дозволяють також підрахувати і співвідношення діаметрів відповідної труби (2) і скидної труби (3) до діаметру труби 1, по якій в розподільчу камеру потрапляє загальний дощовий стік в кількості q_r . Враховуючи, що в дощовій каналізації рух стічних вод відбувається при повному наповненні труб, витрати, що проходять по трубі, дорівнюють $Q = \omega \cdot v$. Як приклад, розглянемо випадок, що стосується центральних та північних областей України. Маємо

$$\frac{q_r}{q_{lim}} = 4,4 \quad \text{або} \quad q_{lim} = 0,23q_r \quad (8)$$

Враховуючи, що q_r це витрати дощового стоку, що поступає до розподільної камери по трубі 1 (рис.1), а q_{lim} – витрати що скидаються по трубі 2 в побутову мережу каналізації, співвідношення (8) можна записати у вигляді

$$v\omega_2 = 0,23(v \cdot \omega_1) \quad (9)$$

Припускаючи, що швидкість руху стічних вод в трубах, що підходять до розподільної камери і відходять від неї однакові, отримаємо

$$d_2^2 = 0,23d_1^2 \Rightarrow d_2 \approx 0,5d_1 \quad (10)$$

Аналогічно в табл.2 підраховані всі інші співвідношення діаметрів труб розподільної камери для різних зон України.

Таблиця 2

Співвідношення витрат і діаметрів труб в розподільній камері

Зони України	Співвідношення $\frac{q_r}{q_{lim}}$	Відносні витрати в трубах розподільної камери		Співвідношення діаметрів труб розподільної камери	
		$\frac{q_2}{q_r}$	$\frac{q_3}{q_r}$	відвідна труба $d_2 = n_2 d_1$	Скидна труба $d_3 = n_3 d_1$
Центральні та північні області України	4,4	0,23	0,77	$d_2 = 0,5d_1$	$d_3 = 0,9d_1$
Захід України	5,7	0,18	0,82	$d_2 = 0,4d_1$	$d_3 = 0,9d_1$
Схід України і Крим	9,0	0,11	0,89	$d_2 = 0,33d_1$	$d_3 = 0,94d_1$

Аналізуючи дані розрахунків, що наведені в табл.2, приходимо до висновку, що при діаметрі підвідної труби (1) до 1м діаметр скидної труби (3) приймається таким же. Діаметр відвідної труби (2), по якій скидається забруднений стік до мережі побутової каналізації значно різниться від діаметру підвідної труби і може бути прийнятним, в залежності від зони України, в межах $d_2 = (0,3 \div 0,5)d_1$.

Список літератури

1. СНиП 2.04.03-85 Канализация, наружные сети и сооружения. – М.: Гострой СССР, 1985. – 73 с.
2. Курганов А.М. Закономерности движения воды в дождевой и обще-сплавной канализации. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
4. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. // Канализация. – М.: Стройиздат, 1976. – 632 с.
5. Василенко О.А. Водовідвідні мережі. К.: КНУБА, 2006. – 98 с.
6. Дикаревский В.С., Курганов А.М, Нечаев А.П., Алексеев М.М. // Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 223 с.

УДК 504.064.36:627.133.4

В. Г. БУРАЧЕК, доктор технічних наук
Інститут землевпорядкування та інформаційних технологій при НАУ
І. І. ГЛАДКИХ, доктор технічних наук
Одеська національна морська академія
О. М. СЕМАКА, аспірант
Чернігівський державний інститут економіки і управління

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМУ РУХУ ВОДНОГО ПОТОКУ В ТРЬОХВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

Досліджено методи і засоби вимірювання швидкості водного потоку. Розроблено вдосконалену модель пристрою для вимірювання за допомогою ультразвуку швидкості та напрямку руху водного потоку в тривимірному просторі.

Ключові слова: пристрій, швидкість і напрямок руху, ультразвук.

Исследованы методы и средства измерения скорости водного потока. Разработана усовершенствованная модель устройства для измерения с помощью ультразвука скорости и направления движения водного потока в трехмерном пространстве.

Ключевые слова: устройство, скорость и направление движения, ультразвук.

In article methods and facilities of water flow speed measuring are researched. Enhanced model of device for measuring of water flow speed and moving direction with ultrasound use in three-dimensional space is developed.

Keywords: device, speed and direction, ultrasound.

Актуальність проблеми

Великий діапазон швидкостей течії в природних водотоках від 1 м/с і менше (у водосховищах, річках) до 8...10 м/с (в гірських річках) зумовлює необхідність застосування різноманітних методів і засобів вимірювання швидкості, дія яких ґрунтується на різних фізичних принципах. Відомі прилади, що основані на фізичних властивостях текучої води (телові, електромагнітні та акустичні), не є точними та потребують калібрування [1-5]. Зокрема, пристрій [6] визначає швидкість та напрямок течії водного потоку тільки в горизонтальній площині. Дослідження швидкостей та напрямків водних потоків робить особливо актуальними питання моніторингу водних об'єктів.

Постановка задачі

За характером контакту з потоком засоби вимірювання швидкості можна поділити на три основні групи [3, с. 93-98]:

- 1) прилади і пристрої, що відіграють роль мітки течії у вигляді поплавків (поверхневих, глибинних) або речовина, яка вноситься в потік і фіксується час її перенесення потоком;
- 2) прилади, які засновані на гідродинамічній взаємодії з потоком, це гідрофлюгери, динамометри, гідрометричні вертлюги;
- 3) прилади, які засновані на використанні фізичних ефектів, що утворює текуча вода, а саме:
 - термогідрометри – це прилади, основані на вимірюванні інтенсивності теплообміну між потоком рідини і введеним в неї чутливим елементом, що занурюється у воду, але використовують термогідрометри головним чином у лабораторних умовах;
 - електромагнітні вимірювачі, засновані на виявленні електрорушійної сили, що створюється магнітним полем Землі [2; 3, с. 99]. Оскільки, напруженість цього природного поля дуже незначна, то для вимірювання швидкості течії електромагнітне поле створюється штучно, за допомогою витків електрокабеля, який занурюють на дно;
 - ультразвукові прилади і пристрої [3, с. 161-164], що реалізують ефект Доплера.

При вимірюванні осередненої за створом швидкості течії здійснюється посилення імпульсів ультразвуку з двох випромінювачів – приймачів (встановлених на протилежних берегах) за косим галсом, у напрямку течії і проти неї з реєстрацією двох часових інтервалів. Ультразвукове зондування може виконуватися в різних напрямках в плані і на різних глибинах, але необхідно утримувати горизонтальне положення ультразвукового променя. Оскільки випромінювачі – приймачі ультразвукових сигналів встановлюються на берегових відкосах або свайних опорах, треба передбачати в опорних конструкціях можливість переміщення датчиків ультразвуку залежно від коливань рівня без порушення їх взаємного орієнтування. Внаслідок непаралельності площин розповсюдження ультразвукових променів з протилежних берегів і технічних ускладнень виникають значні похибки.

Задачею даного дослідження є модифікація ультразвукової установки [6] для вимірювання швидкості та напрямку руху водного потоку, яка містить два ультразвукових випромінювача і два приймача, розміщених на площині по горизонтальних лініях, утворюючи ромб, витягнутий за напрямком течії, при цьому напрями розповсюдження сигналів протилежні, а відстані між випромінювачами і приймачами – рівні. Випромінювачі і приймачі жорстко встановлені на спільній основі, що кріпиться на штанзі.

Виклад основного матеріалу

Нами пропонується вдосконалений пристрій, що містить комбінацію випромінювачів і приймачів ультразвукового випромінювання, який відрізняється тим, що він має шість ультразвукових блоків, в тому числі два випромінювача і чотири приймача, при цьому блоки встановлені в трьох взаємно-перпендикулярних площинах так, що в кожній площині траєкторії ультразвукових променів утворюють квадрати і в кожному квадраті в робочому режимі випромінювачі та приймачі розміщені по чергово.

На рис. 1. представлена блок-схема розробленого нами пристрою для просторового вимірювання швидкості та напрямку руху водного потоку.

Пристрій складається із електронного блока управління 1; блока розподілення 2; блока випромінювачів 3; блока приймачів 4; блока попереднього підсилення 5; електронного блока обробки інформації 6; блока індикації 7, блока запису і збереження інформації 8; каналу передачі даних 9. Блок випромінювачів 3, містить ультразвукові генератори (позиція 14, 15 розміщені на горизонтальній осі на рис. 2). Блок приймачів 4, містить приймальні пристрої ПРУ (позиція 10, 11, 12, 13 розміщені у вертикальній площині на рис. 2). Електронний блок обробки інформації 6, складається з Допплерівського частотоміру, аналізатора.

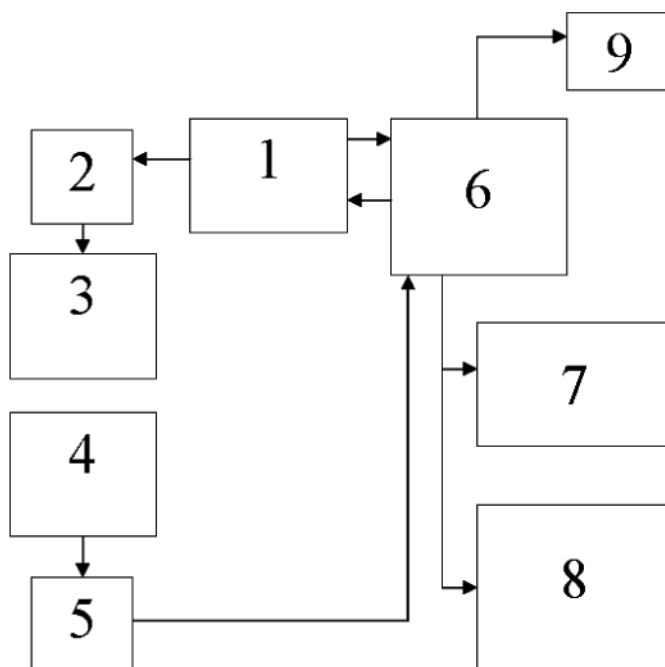


Рис.1. Блок-схема пристрою для просторового вимірювання швидкості та напрямку водного потоку

Пристрій встановлюється на зовнішній частині підводного апарату, усі його елементи розміщені в єдиному корпусі, при цьому п'єзоелектричні елементи жорстко зв'язані.

Пристрій працює наступним чином. Блок управління 1 задає необхідну частоту і керує електронним блоком обробки інформації 6, блок розподілення 2 посилає сигнали опорної частоти f_0 для кожного ультразвукового генератора, які випромінюються у чотирьох напрямках (Рис. 2) ультразвуковими генераторами 14, 15. Зареєстрований приймачами 10, 11, 12, 13 сигнал відрізняється від частоти f_0 на величину Δf Допплерівського зміщення, зумовленого впливом течії водного потоку, який підсилюється блоком попереднього підсилення 5 і надходить до електронного блока обробки інформації 6, де відбувається виділення частоти Δf , яка пропорційна швидкості течії. Потім сигнали аналізуються та передаються в блок управління 1 і виводяться на блок індикації 7, відградуировані в одиницях швидкості. Реєстрація відбувається в блоці запису і збереження інформації 8.

Запропонований пристрій забезпечує вимір подвійної різниці фаз сигналів в повздовжньому та поперечних напрямках як в горизонтальній, так і в вертикальній площині для відповідних проекцій ($\vec{P}r_i$) вектора швидкості водного потоку, що дозволяє отримати високу точність вимірювання.

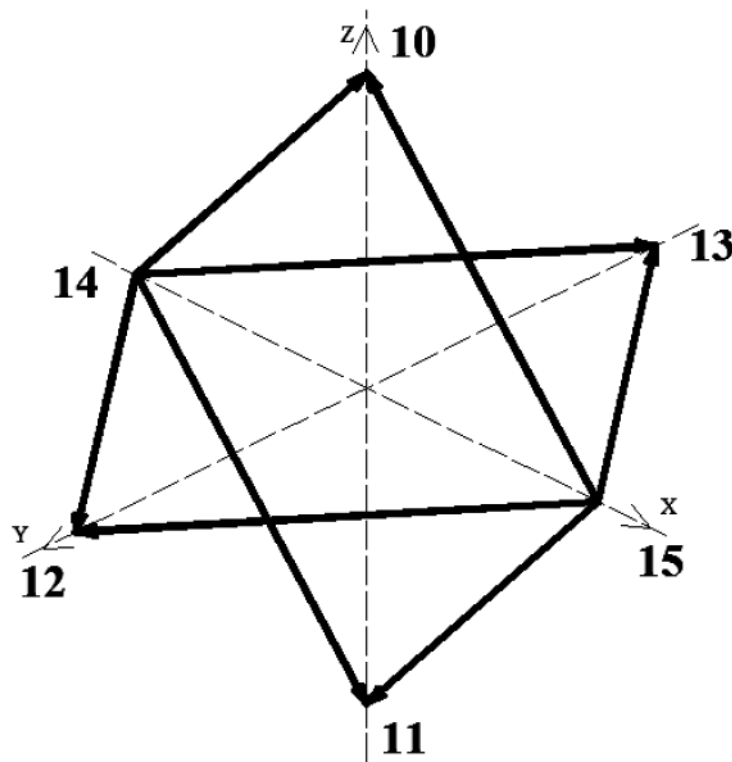


Рис.2. Схема розповсюдження ультразвукових імпульсів пристрою

Проекції направляючого вектора і відповідних площинах в системі координат XYZ визначаються за формулами:

$$\vec{P}r_{(XY)}\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} \quad ; \quad (1)$$

$$\vec{P}r_{(XZ)}\vec{a} = a_x\vec{i} + a_z\vec{k} \quad ; \quad (2)$$

$$\vec{P}r_{(YZ)}\vec{a} = a_y\vec{j} + a_z\vec{k} \quad ; \quad (3)$$

де $a_x\vec{i} = \vec{a}_x$, $a_y\vec{j} = \vec{a}_y$, $a_z\vec{k} = \vec{a}_z$; a_x , a_y , a_z – координати вектора на відповідній осі системи координат XYZ; \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – одиничні вектори.

Сума проекцій (1, 2, 3) буде рівна:

$$\sum \vec{P}r \vec{a} = 2(a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}) = 2\vec{a} \quad (4)$$

Тоді з формули (4) вектор швидкості водяного потоку дорівнює:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{P}r_i \vec{a}}{2} \quad (5)$$

Оскільки вимірювання по осях X, Y, Z є незалежними, то і похибки вимірювання швидкості за ними будуть також незалежними. Точність вимірювання швидкості буде рівна похибці вимірювання швидкості в кожній з площин ((XY), (XZ), (YZ)) Оскільки похибки вимірювань є незалежними і рівними, вони утворюють сферу з радіусом σ^2 (середня квадратична похибка вимірювання швидкості). Тоді, похибка вимірювання швидкості σ^2 за [4, с.175] для однієї площини (XY) дорівнюватиме:

$$\sigma^2 = \frac{1}{4} f_0^2 \sigma_{\Delta\lambda}^2 + \frac{1}{4} (\Delta\lambda)^2 \sigma_{f_0}^2 + \frac{1}{4} \frac{c^2}{f_0^2} \sigma_{\Delta f}^2 + \frac{1}{4} \frac{c^2 (\Delta f)^2}{f_0^2} \sigma_{f_0}^2 \quad (6)$$

де f_0 – номінальна частота; $\sigma_{\Delta\lambda}$ – похибка вимірювання різниці фаз; $\Delta\lambda$ – різниця фаз; σ_{f_0} – похибка

калібрування опорної частоти; C – швидкість світла; $\sigma_{\Delta f}$ – похибка врахування флуктуації частоти f ; Δf – флуктуація частоти.

Висновки

Розглянуто особливості просторового вимірювання швидкості та напрямку руху водного потоку. Запропоновано новий компактний пристрій для моніторингу водних об'єктів із проведенням досліджень з метою прогнозування та оцінки наслідків антропогенного впливу. Ультразвукове зондування може виконуватись в різних напрямках потоку (повздовжньому, поперечних, в горизонтальній та вертикальній площині). Вимірювання можуть бути проведені в різних природних водоймах і будь-яких точках водного потоку.

Список літератури

1. Быков В. Д. Гидрометрия: учебник для студентов вузов по спец. «Гидрология суши» / Быков В.Д., Васильев А.В. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 447 с.
2. Васильев А. В. Водно-технические изыскания / А. В. Васильев, С. В. Шмидт. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – С. 111– 112.
3. Карасев И. Ф. Гидрометрия : учебник / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков; ред. Л. А. Чепелкина. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 384 с.
4. Мамонтова Л. С. Метод вимірювання швидкості та напрямку течії водного потоку з використанням ультразвукового пристрою: зб. наук. праць за матеріалами VI міжнар. наук.-практ. конф. / Л. С. Мамонтова. – Ч.: ЧДІЕУ, 2010. – С. 165– 177.
5. Мозжухин О. А. Гидрографические работы в инженерных изысканиях / О. А. Мозжухин – М.: Недра, 1971. – 96 с.
6. Пристрій для вимірювання швидкості та напрямку течії водного потоку: Патент на винахід № 77288, Україна, МПК(2006)G01p5/00, G01p13/00, G01b7/00/ Бурачек В. Г., Мамонтова Л. С., Скітер І. С. – № 20041109032; Заявлено 05.11.2004; Опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, – 1 с.

УДК 624.138

М.Л.ЗОЦЕНКО, доктор технічних наук професор

І.І.ЛАРЦЕВА, кандидат технічних наук

О.В.ПЕТРАШ, аспірант

В.Г.ІВАНЧЕНКО, студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

І.М.СУХОРОСОВ, інженер

ВАТ «Домобудівний комбінат» м. Київ

ВОДОНЕПРОНИКНІ ЗАПОНИ З ҐРУНТОЦЕМЕНТУ, ЯКИЙ ВИГОТОВЛЮЄТЬСЯ ЗА БУРОЗМІШУВАЛЬНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

У роботі розглянуто сучасний метод влаштування водонепроникних запон із вертикальних ґрунтоцементних елементів, які виготовляються за бурозмішувальною технологією. Запропоновані конструктивні рішення запон залежно від інженерно-геологічних умов ділянки будівництва і призначення споруди. Вдосконалено обладнання і технологічні особливості виготовлення ґрунтоцементних завіс. Наведені експериментальні дані про фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу, в тому числі про водонепроникність.

Ключові слова: протифільтраційна завіса, бурозмішувальна технологія, ґрунтоцемент, водонепроникність, підземні води, токсичні відходи.

В работе рассмотрен современный метод устройства водонепроницаемых ограждений из вертикальных ґрунтоцементных элементов, изготовленных по буромесительной технологии. Предложены конструктивные решения завес в зависимости от инженерно-геологических условий

участка строительства и назначения сооружения. Усовершенствованно оборудование и технологические особенности изготовления грунтоцементных завес. Приведены экспериментальные данные по физико-механическим характеристикам грунтоцемента, в том числе и по водонепроницаемости.

Ключевые слова: противодиффузионная завеса, буросмесительная технология, грунтоцемент, водонепроницаемость, подземные воды, токсичные отходы.

The modern method of watertight diaphragm erection from vertical soil-cement elements which made by boring and mixing technology is presented in the article. There are offered the structural solutions of curtains which depending from the engineering and geological conditions of site and building function. The equipment and technological features of soil-cement diaphragm erection are improved. There are presented the experimental data of soil-cement physical and mechanical characteristics, including their watertightness.

Key words: watertight diaphragm, boring and mixing technology, soil-cement, watertightness, underground water, toxic wastes.

Постановка проблеми. Потреба у використанні водонепроникних запон не потребує спеціального обґрунтування. Їх використовують при необхідності захисту від підземних вод підземних частин будівель і споруд, або навпаки, необхідності захищати навколишні території від проникнення в їх підземний простір вод чи розчинів із накопичувачів води і рідин (зрошувальних каналів, технологічних ємностей, накопичувачів побутових і виробничих відходів тощо). Звичайно, для таких споруд використовують ущільнені глини, бетонні і залізобетонні стіни, металеві конструкції, які занурюють у ґрунт (шпунтовий ряд) тощо. Практично усі перелічені конструктивні рішення водонепроникних запон потребують додаткових гідроізоляційних покриттів у вигляді непроникних плівок.

Більшість конструкцій водонепроникних запон (крім шпунта) потребують спеціальних земляних робіт, які проводяться з вийманням і утилізацією ґрунту. Порожнина, яка при цьому утворюється, заповнюється непроникним матеріалом – ущільненою глиною, бетоном, різними композитами тощо. Необхідність виймання і утилізації ґрунту, використання перелічених матеріалів, які необхідно завозити на будівництво, а в окремих випадках використання полімерних плівок, – все це ускладнює роботи з будівництва таких запон, а також потребує значних витрат.

Пропонується, з метою виключення процесу виймання ґрунту, а також використання природного ґрунту для зведення водонепроникних запон, виготовляти їх з ґрунтоцементу за бурозмішувальною технологією [1].

Аналіз останніх досліджень. Одним із ефективних напрямків зниження вартості фундаментобудування є використання у якості матеріалу ґрунтів, які залягають в основі будівельної ділянки. За допомогою спеціального обладнання виконують розпушування ґрунту безпосередньо у масиві без його виймання. Одночасно у розпушений ґрунт нагнітається цементна суспензія, виконується перемішування й ущільнення ґрунтоцементної суміші. Внаслідок чого у ґрунті утворюється циліндричний ґрунтоцементний елемент діаметром 0,3...0,8 м довжиною до 30 м. Такі елементи можуть використовуватися як фундаменти будівель і споруд різного призначення, протифільтраційні завіси, підпірні стіни, утримуючі споруди при закріпленні укосів котлованів та зсувних схилів [2].

Відповідно до СН-23-58 для виготовлення ґрунтоцементу придатні піски різної крупності, леси, лесовані й карбонатні суглинки та супіски. Вміст водорозчинних солей – не більше 3%, у тому числі сірчаноокислих – не більше 2%. Оптимальним для утворення ґрунтоцементу слід вважати величину водневого показника $pH = 8$.

Влаштування ґрунтоцементних елементів проводиться за допомогою комплексу обладнання, до складу якого входить:

- буровий станок УГБ (рис. 1), модернізований тим, що шнеки замінено на бурові штанги діаметром 100 мм, які виготовлено з внутрішнім каналом для подавання розчину. Робочий орган для руйнування ґрунту має отвори для розподілення цементної суспензії по усьому перерізу свердловини. Для з'єднання шнеків з розчинонасосом передбачено напірні шланги та вертлюг;
- розчиномішалка для виготовлення розчину;

- розчинонасос для нагнітання розчину до свердловини.



Рис.1. Буровий станок УГБ

Цементну суспензію замішують у розчиномішалці і нагнітають за допомогою розчинонаосу крізь вертлюг у бурову штангу і далі до розпушеного ґрунту. Виготовлення цементної суспензії можна проводити за допомогою одного із розчинозмішувачів, які випускаються промисловістю при умові забезпечення однорідності суспензії для закріплення ґрунту. У якості розчинонаосів можуть бути використані будівельні діафрагмові чи бурові плунжерні насоси, які створюють тиск 0,5...0,7 МПа.

Суть бурозмішувальної технології полягає у тому, що у процесі буріння свердловини розпушуються природний ґрунт без виймання його із свердловини. У зону руйнування крізь вертлюг, яким оснащено буровий станок, розчинонаосом нагнітають водоцементну суспензію, яка робочим органом ретельно перемішується із пухким ґрунтом. Розпушування ґрунту, подавання цементного розчину і розмішування його з ґрунтом виконується за всією довжиною ґрунтоцементного елемента. Після тужавіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі. Його можливо утворювати і у водонасиченому ґрунті, тобто нижче рівня ґрунтових вод. Досліди, які було проведено у часі по визначенню міцності ґрунтоцементних паль показали її зростання навіть через рік після виготовлення [2].

Буріння свердловини починається з першої штанги, яка обладнана наконечником для руйнування ґрунту та його змішування з цементною суспензією. У ньому влаштовані отвори для подавання суспензії до свердловини. Проектна глибина свердловини досягається поступовим нарощуванням штанг, які з'єднуються між собою спеціальними муфтами. При зворотному ході штанги виконується додаткове перемішування суміші з додаванням цементної суспензії. За висотою одного шнеку перемішування можна проводити кілька разів для досягнення більш однорідного складу ґрунтоцементу. Після цього верхній шнек видаляється і багатократне перемішування суміші виконується на наступній ділянці. Таким чином, поступовим видаленням шнеків досягається заповнення усієї свердловини ґрунтоцементом і проводиться його ретельне перемішування. При необхідності у свіжий ґрунтоцемент вставляється арматурний каркас за допомогою гідравліки чи вібрації.

Виконання прийнятої технології влаштування ґрунтоцементних елементів забезпечує необхідну однорідність ґрунтоцементу, а також надійну стійкість стінок свердловини у будь-яких нестійких ґрунтах, у тому числі і справжніх пливунях, тому що щільність рідкого ґрунтоцементу більша за щільність пливуня. Саме ця особливість ґрунтоцементних паль становить їх у ряд найбільш технологічних, тобто універсальних фундаментів.

Відповідно до [2, 3] нормативні і розрахункові величини опорів осьовому стиску (призмона міцність) в залежності від марки ґрунтоцементу наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Нормативний опір ґрунтоцементу, МПа, при проектній марці ґрунтоцементу за міцністю на стиск

Стиск осьовий (призмона міцність)	Позначення опору ґрунтоцементу	Нормативний опір ґрунтоцементу, МПа, при проектній марці ґрунтоцементу за міцністю на стиск				
		50	75	100	150	200
Нормативний опір ґрунтоцементу	$R_{\sigma}^i, \text{МПа}$	4	6	8	12	16

Виклад основного матеріалу. Для вивчення водонепроникних властивостей ґрунтоцементу в лабораторних умовах виготовлялися зразки із суглинків лесових світло-коричневих. Кількість портландцементу М400 – 20 % від ваги сухого ґрунту, водоцементне відношення розчину – В/Ц = 1. Після виготовлення зразки зберігалися протягом 28 діб у вологих умовах. Зразки-циліндри висотою та діаметром 150 мм випробовувалися стандартним методом «мокрої плями» [5]. Перед випробуванням зразки витримувалися у приміщенні лабораторії протягом доби. Після встановлення зразків у гнізда установки (рис. 2) до них прикладали тиск водою. Тиск води підвищували ступенями по 0,2 МПа і витримували на кожній ступені протягом 24 годин. Водонепроникність серії зразків оцінювалася максимальним тиском води, за якого на чотирьох із шести зразків не спостерігалось просочування води. Цей тиск дорівнює 1,4 МПа, що відповідає марці по водонепроникності W14.



Рис.2. Установка для випробувань зразків методом «мокрої плями»

Паралельно водонепроникність зразків ґрунтоцементу визначалася експрес-методом оцінювання повітропроникності пристроєм ВВ-2 типу «Агама» (рис. 3).



Рис.3. Пристрій ВВ-2 прискореного визначення водонепроникності

Даний пристрій використовується для прискореного визначення водонепроникності бетону. Цей метод ґрунтується на наявності експериментальної залежності між повітропроникністю поверхневих шарів бетону та його водонепроникністю [4].

Було проведено 6 випробувань, результати яких наведені в табл. 2. В якості параметру, який характеризує повітропроникність в серії зразків, є середнє значення часу падіння тиску в камері для третього та четвертого випробувань, записаних у порядку зростання.

Таблиця 2

Значення часу та марки за водонепроникністю для зразків ґрунтоцементу

№ зразка	Час t_p , с	Марка W
1	380	12
2	420	14
3	534	14
4	548	14
5	560	14
6	612	16

За результатами випробувань отримали, що водонепроникність ґрунтоцементу відповідає марці W14. Коефіцієнт варіації, визначений в результаті проведення статистичної обробки даних методом найменших квадратів, для цього випробування склав $V = 0,2$. Відзначимо, що такого високого показника водонепроникності для бетонів досягти дуже складно.

Така висока водонепроникність ґрунтоцементу, яка досягається при звичайному технологічному циклі без спеціальних добавлень, відкриває широкі можливості використання ґрунтоцементу при спорудженні водонепроникних запон. На рис. 4 показані схеми конструктивних рішень спеціальних споруд, які призначені для тривалого зберігання токсичних рідин в ємностях, що заглиблені нижче поверхні землі.

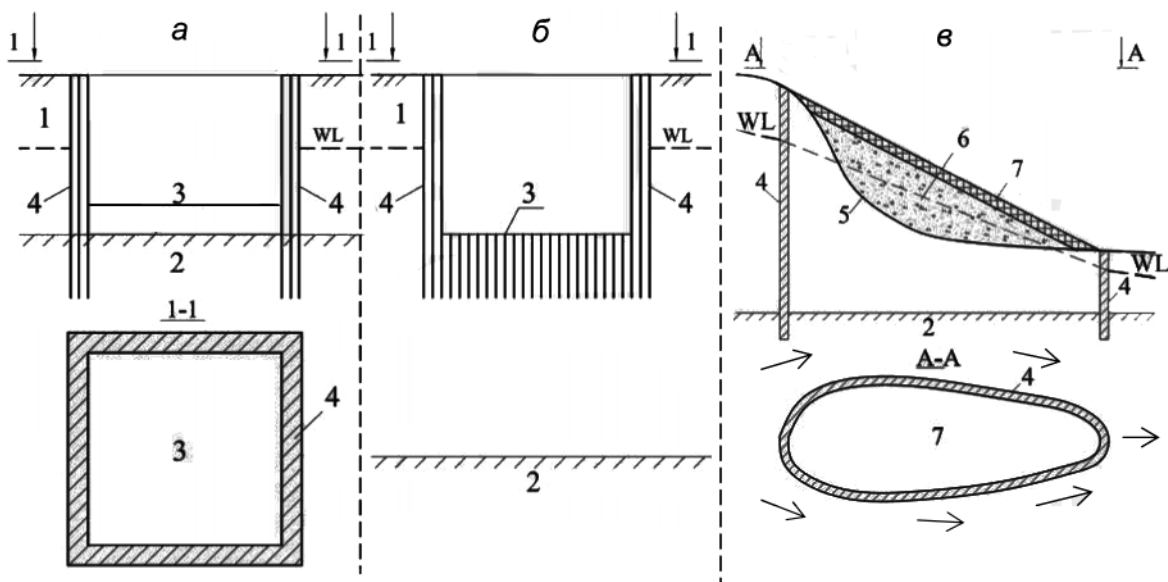


Рис.4. Схема сховища для токсичних речовин:

- а – доведено до водотриву; б – з днищем у водонепроникному шарі; в – у яру;
 1 – водонепроникний ґрунт, 2 – водотрив, 3 – сховище, 4 – ґрунтоцементні елементи; 5 – яр; 6 – відходи;
 7 – рекультивуваний шар

На рис. 4, а показана ємність, яка огорожена по контуру водонепроникним екраном з ґрунтоцементу. Екран заведено у водотрив, що забезпечує повну ізоляцію вмісту від навколишнього середовища. За таким принципом можливо конструювати септики, аеротенки, комори для шламу на бурових свердловинах, захоронення токсичних речовин тощо. Коли водотрив знаходиться на

значній глибині нижче дна споруди додатково влаштовується днище з суцільного ґрунтоцементу товщиною 1...2 м (рис. 4, б). Днище можливо виконувати паралельно з огорожею шляхом цементації ґрунту лише нижче відмітки днища. Ґрунт з ємності виймається після тужавіння ґрунтоцементу.

На рис. 4, в показана схема захоронення побутових відходів у ярах. Для виключення контакту відходів з ґрунтовими водами за тим же принципом влаштовується огорожа яру до водотриву. Потік ґрунтових вод обминає перепону. Баражний ефект при фронті запони до 100 м не перевищує 0,2...0,3 м, що не може суттєво змінити гідрогеологічний режим ґрунтових вод.

На рис. 5 показано схему руйнування основи фундаментів, які розташовані на засипаному підземному ході.

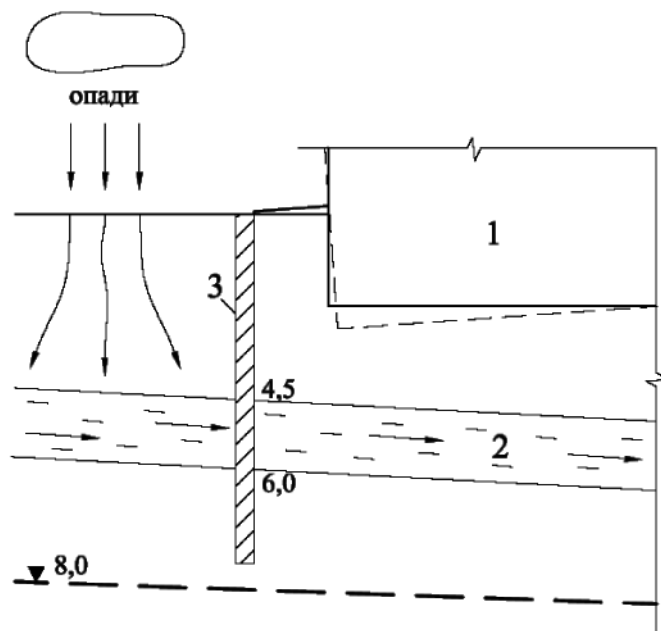


Рис.5. Використання завіси із ґрунтоцементу при наявності підземних порожнин:
1 – Краєзнавчий музей, м. Полтава, 2 – підземні порожнини,
3 – ґрунтоцементна завіса

Атмосферні води за законами гідрогеології інфільтруються до рівня ґрунтових вод. Макропориста вертикальна текстура лесових і лесованих порід сприяє цьому процесу. Коли на шляху інфільтрації води зустрічається пухкий ґрунт порушеної структури підземного ходу, складаються умови руху води у горизонтальному напрямку, тому що проникність цього ґрунту більша, ніж природного складу. Створюється тимчасовий горизонтальний потік підземних вод, який розповсюджується в насипних ґрунтах підземних ходів. Кількість води у потоці залежить від багатьох факторів, зокрема від наявності провалів, які звичайно засипають піском або будівельним сміттям, чим створюються дрени для поповнення потоку. Важливим джерелом поповнення такого потоку є і техногенні води. Коли вода проходить крізь насипний ґрунт, вона його, по-перше, зволожує і, по-друге, суфозійно його руйнує. Обидва ці фактори викликають додаткове осідання фундаментів, які розташовані у таких умовах.

Звичайно, при будівництві, коли зустрічають підземний хід, найчастіше його засипають ґрунтом, влаштовуючи склепіння у фундаменті або ж влаштовують фундамент на всю глибину підземного ходу. Найбільш доцільним було б перекрити підземні ходи таким чином, щоб припинити по них рух атмосферних та антропогенних вод і виключити подальше зволоження і суфозійне руйнування насипних ґрунтів. Для цього використовується ґрунтоцементна протифільтраційна завіса так, як це показано на рис. 5. Слід звернути увагу на те, що запона не доводиться до рівня ґрунтових вод і, відповідно, не впливає на їх режим.

Великі проблеми з обводненням територій виникають там, де розвинуто систему зрошення. Для виключення негативного ефекту слід влаштовувати ґрунтоцементні запони так, як це показано на рис. 6.

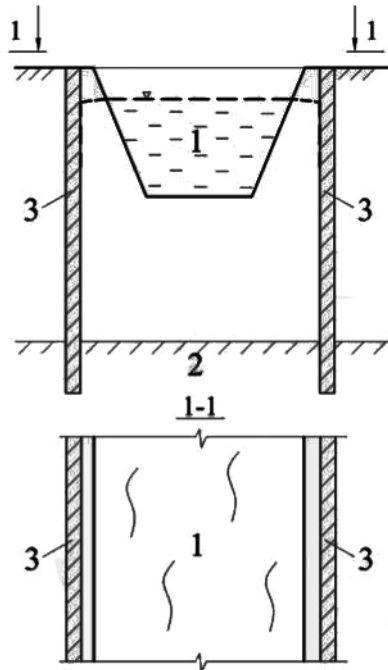


Рис.6. Використання завіси із ґрунтоцементу для огороження каналу:
1 – канал, 2 – водотрив, 3 – ґрунтоцементна завіса

Можливо вважати експериментально доведеною аномально високу водонепроникність ґрунтоцементу, але водонепроникність заповни залежить ще і від її суцільності. Для створення суцільної заповни при діаметрі ґрунтоцементного елемента 0,5 м, вони влаштовуються вздовж осі так, що відстань між центрами сусідніх елементів складає 400 мм. Влаштування їх іде методом "через одну" (рис. 7, а).

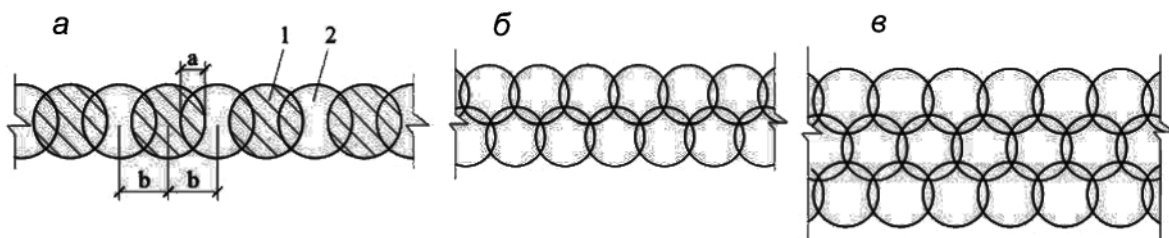


Рис. 7. Схеми розташування елементів ґрунтоцементної завіси:
а – однорядне, б – дворядне, в – трирядне розташування

При великих глибинах закладання заповн більш вірогідні відхилення елементів від вертикалі. В таких випадках для підвищення надійності водонепроникності влаштовуються дворядні заповни (рис. 7, б) і навіть трирядні (рис. 7, в).

Висновок. В останні роки в Україні вдосконалена бурозмішувальна технологія виготовлення ґрунтоцементу. За допомогою спеціального обладнання виконують розпушування ґрунту безпосередньо у масиві без його виймання. Одночасно у розпушений ґрунт нагнітається цементна суспензія, виконується перемішування й ущільнення ґрунтоцементної суміші. Внаслідок чого у ґрунті утворюються циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром 0,3...0,8 м довжиною до 30 м.

В лабораторних умовах за двома стандартними методами експериментально доведено, що водонепроникність ґрунтоцементу без гідрофобних добавок складає W12–W16, що практично недосяжно для важких бетонів. Пропонується використовувати бурозмішувальну технологію виготовлення ґрунтоцементу для влаштування водонепроникних заповн різного призначення.

Список літератури

1. Безрук В.М. Укрепленные грунты / В.М. Безрук, И.Л. Гурячков, Т.М. Луканина, Р.А. Агапова. – М.: Транспорт, 1982. – 340 с.
2. Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта / А.Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 183 с.
3. Виленкина Н.М. Цементно-грунтовые камни / Н.М. Виленкина. – М.: Госстройиздат, 1961. – 84 с.

4. Дослідження водонепроникності ґрунтоцементу / [М.Л. Зоценко, О.І. Наливайко, І.І. Ларцева, О.М. Панько] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2010. – Вип. 32.– С. 43–48.
5. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 38 с.

УДК 628.35.60

І.М. ТАВАРТКІЛАДЗЕ, доктор технічних наук

А.М. ЮРЧЕНКО, магістрант

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗОСЕРЕДЖЕНА ПОДАЧА СТИЧНИХ ВОД НА БАШТОВІ БІОФІЛЬТРИ.

Розглянута схема з розосередженою подачею стічних вод забезпечує рівномірне навантаження шарів завантаження біофільтру, дає змогу зменшити БСК стічних вод при тій самій витраті води або збільшити пропускну здатність при такому самому ефекту обробки.

Ключові слова: біофільтр; біоплівка; розосередження; БСК; піноскло; навантаження; субстрат.

Рассмотренная схема с рассредоточенной подачей сточных вод обеспечивает равномерную нагрузку слоев загрузки биофильтра, позволяет уменьшить БПК сточных вод при одном и том же расходе воды или увеличить пропускную способность при таком же эффекте очистки.

Ключевые слова: биофильтр; биопленка; рассредоточения; БПК; пеностекло; нагрузка; субстрат.

A scheme of dispersed supply of waste water provides uniform loading to the load layer of the biofilter, it can reduce the BOD of waste water at the same flow or increase capacity to the same effect of treatment.

Key words: biofilter; biofilm; dispersal, BSC; Foam; load substrate.

Вступ

Біофільтр є спорудою для очищення стічних вод. Це біосорбційний реактор, який на відміну від аеротенків забезпечує прискорене вилучення забруднень при малій швидкості окиснення. Кінетика процесів масообміну в біофільтрах створювалась і розвивалась протягом багатьох років. Зарубіжні дослідники Донбер (1900), Велз (1948), Джебер (1954), Фейрелл (1956), Шульце (1960), Гауленд (1953, 1958, 1960), Екенфельдер (1961), Геллер і Готас (1964), Жер-мен (1966), Хаммам (1968), Балакрішман (1969), Громец (1970), Амадо (1964), Актінсон (1963), Майер (1966), Лембіт (1970), Буш (1971), Браун (1971), Еймс (1962) і радянські вчені Корольков і Строганов (1950), Яковлев (1959), Скирдов і Швецов (1976), Мішуков і Феофанов (1982) розробили фундаментальні уявлення про біофільтрацію.

Загально визнаною є оцінка роботи біофільтра, побудована на аналізі перенесення кисню з атмосфери в стічну рідину і видалення органічних розчинених речовин на поверхні біоплівки з подальшим їх окисненням.

Мак-Кіні (1962) вважав, що оскільки концентрація мікроорганізмів у біоплівці перевершує кількість поживних речовин, то їх окиснення і дифузія в глиб плівки здійснюються набагато швидше, ніж надходження нових забруднень до межі розділу "рідина - біоплівка".

Еймс (1962) створив математичну модель процесу, засновану на засадах загальної хімічної технології апаратів із завантаженням з зернистих шарів.

С.В. Яковлев (1959) розробив практичні основи розрахунку біофільтрів з урахуванням впливу великої кількості факторів на загальний ефект роботи апаратів, які отримали назву «критеріального комплексу».

Теоретичні основи процесу

Детальний аналіз даних зарубіжних і вітчизняних дослідників і результати багаторічних теоретичних і експериментальних розробок дозволили скласти узагальнені уявлення про основні закономір-

ності вилучення забруднень [1, 3].

1. Механізм процесу очищення стічних вод біоплівкою можна представити у вигляді паралельно протікаючих етапів:
 - адгезія нерозчинених речовин на поверхню завантаження і біоплівки;
 - сорбція розчинених органічних забруднень на поверхню біоплівки;
 - вилучення забруднень, здійснюване відірваної біоплівкою при її русі через тіло завантаження спільно з потоком очищуваної рідини;
 - окислення забруднень у біофільтрі переважно відбувається у біоплівці і залежить від віку останньої.
2. Особливості конструктивного оформлення завантажувального матеріалу впливають на гідродинамічний режим обтікання активної поверхні, а отже і на процеси масопереносу.
3. Температурний фактор суттєво впливає на швидкість протікання процесу очищення,
4. Лінійна швидкість потоку рідини впливає на товщину дифузійного шару біля поверхні біологічної плівки, яка омивається і, отже, на масоперенесення забруднень у цілому.
5. Розчинений кисень бере участь у процесі очищення як функціональний елемент життєдіяльності мікроорганізмів.
6. Загальний обсяг і інтенсивність утворення біоплівки визначають сумарну сорбційно-окислювальну потужність апарату.

Вилучення забруднень із стічних вод на біофільтрах забезпечується складним ланцюгом масообмінних процесів: сорбції, гідролізу, ферментативних реакцій і окислювання безпосередньо клітиною.

Завантажувальний матеріал біофільтрів покликаний забезпечувати роботу прикріпленого біоценозу, а саме рівномірне надходження поживних речовин і вільний доступ кисню.

Використання нових видів завантажувальних матеріалів дозволяє розширити сферу застосування класичних біофільтрів і створити перспективні конструктивні оформлення цих апаратів. До таких завантажень відносяться: блокові завантаження з пластичних мас, перфороване піноскло, азбестоцементні листи, площиноподібні листові матеріали та ін.

Тривалі дослідження [1], проведені у виробничих умовах, дозволили розробити, вивчити і впровадити в практику блокове завантаження з піноскла. Як показала практика, завантаження з піноскла відрізняється рядом істотних переваг у технологічному, конструктивному і експлуатаційному відношенні, порівняно з іншими матеріалами.

Аналіз практичних результатів досліджень і теоретичних передумов дозволив інтерпретувати процес вилучення забруднень у біофільтрах як біосорбційний.

Процес вилучення забруднень за рахунок сорбції та біологічного окиснення задовільно описується графічними залежностями значень БПК стічних вод по висоті завантаження (рис. 1).

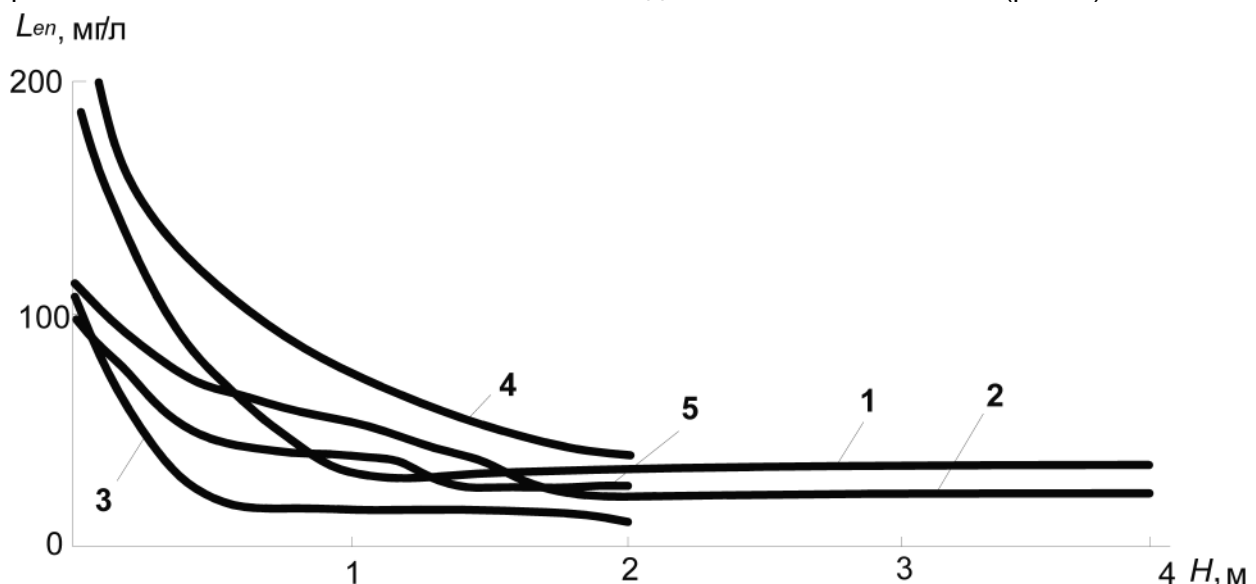


Рис.1. Зниження БПК стічних вод по висоті біофільтрів за різними авторами [1]: 1 – Муллер, 2 – С.В. Яковлев, 4 – Д. Єльжир, 3, 5 – І.М. Такарткіладзе.

Дані свідчать про те, що основна маса забруднень видаляється зі стічних вод у верхніх шарах завантаження, а саме – 1...2 м від верха біофільтра. Нижні шари завантаження працюють з меншою віддачею в режимі "доочищення". Таким чином, при традиційній схемі подачі стічних вод на біофільтри близько 60% загального обсягу завантаження використовується неефективно.

Практичні реалізації

В верхніх шарах біофільтра товщина біоплівки є більшою із-за підвищеної концентрації БПК, а вік біоплівки менше, ніж у нижніх шарах. Рівняння Моно враховує приріст біоплівки за рахунок окислювання і збільшення маси бактерій. Однак приріст біоплівки відбувається також за рахунок зовнішньодифузійного переносу, при якому окислювання відсутнє, проходить лише розчинення кисню і перенесення молекул забруднень на поверхню біоплівки до тих пір, доки швидкість внутрішньої дифузії не буде уповільнювати зовнішньодифузійний приток забруднень.

Оскільки швидкість внутрішньої дифузії і окислення значно менше зовнішньодифузійного переносу, проходить накопичення інертної маси (перенесеного і неокисненого забруднення) і приріст товщини біоплівки. По мірі збільшення товщини біоплівки до мікроорганізмів, які знаходяться в нижніх шарах біоплівки, надходить все менше поживних речовин і кисню. Внаслідок цього аеробні процеси в верхніх шарах біоплівки переходять в анаеробні, а окислення субстрату в нижніх шарах – в режим психрофільного бродіння. Настає момент, коли нестача поживних речовин призводить до загибелі мікроорганізмів. На межі «біоплівка-сорбент» сила зчеплення біоплівки з поверхнею завантаження стає мінімальною, а через порушення балансу енергія стікаючого потоку по поверхні рідини стає більшою, ніж сила зчеплення біоплівки із завантаженням. Така нерівність енергії відриває від поверхні завантаження біоплівку, яка разом з очищеною стічною водою виноситься до вторинного відстійника. Відторгнута біоплівка рухається по поверхні сорбенту повільніше, ніж рідина і на «мозаїчній» (нижня сторона відторгнутої біоплівки) поверхні біоплівки, де сили поверхневого натягу мінімальні, продовжується сорбція забруднень.

Описана схема дає право вважати, що в біофільтрах працює як прикріплена, так і відторгнута біоплівка. Для подальшого розвитку цієї гіпотези і можливості її врахування при проектуванні необхідно знати ймовірну швидкість, причину і кількість обміну біоплівки, регенерацію завантаження біофільтра.

Підвищення ступеня використання обсягу завантаження по вилученню забруднень вирішується за допомогою технічних і технологічних прийомів:

- рециркуляція очищених стоків спільно з біоплівкою і без неї;
- застосування багатоступеневих схем;
- застосування композитних завантажень, відповідних органічним навантаженням по висоті біофільтра і т.д.

В результаті застосування різних варіантів досягається деяке збільшення ступеня очищення, але при цьому зростають експлуатаційні витрати і енергоспоживання системи в цілому.

Одним із важливих питань в галузі водовідведення є очистка малих кількостей стічних вод для окремо розташованих об'єктів. Одночасно це питання ускладнюється ще по таким причинам:

1. Різка зміна витрати і складу стічної води по годинам доби.
2. Зміна температури стічних вод, яке викликане нерівномірністю подачі їх на споруди.
3. Відсутність кваліфікованого персоналу.

Такими об'єктами є санаторії, будинки відпочинку, водолікувальні, які, як правило, будуються окремо від населених пунктів.

Ускладнює роботу ще й той факт, що влітку витрата стічних вод збільшується в зв'язку зі збільшенням відпочиваючих, а взимку, відповідно, зменшується.

Враховуючи всі вище зазначенні конструктивні прийоми та особливості розташування об'єкту, спеціалісти і науковці кафедри гідравліки та водовідведення КНУБА запропонували інший технічний прийом – перерозподіл стічної рідини по висоті біофільтра.

Така розосереджена подача стічних вод влаштована на діючих біофільтрах очисних споруд будинку відпочинку "Тетерів" (рис. 2).

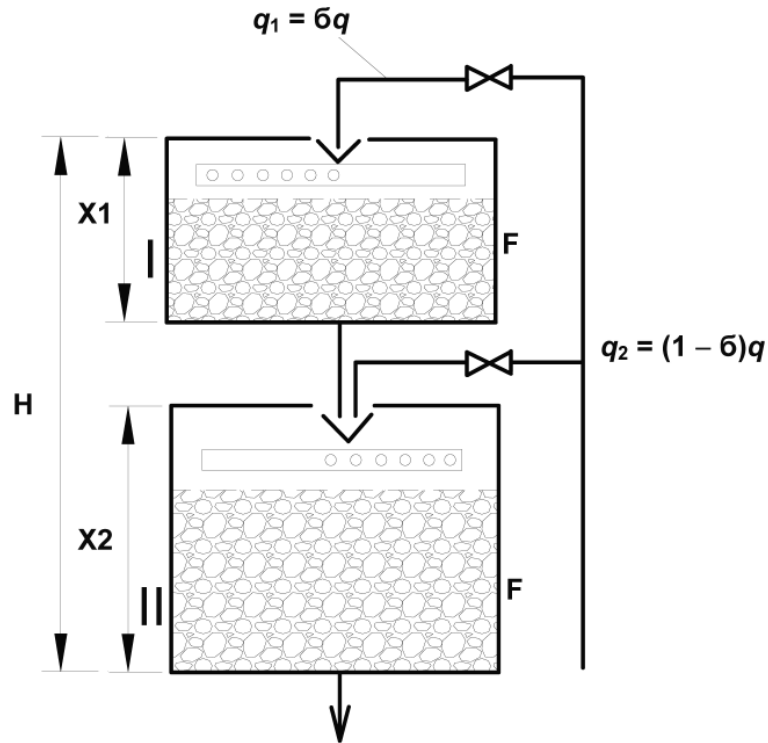


Рис.2. Схема розосередженої подачі стічних вод на біофільтр.

Аналізуючи дослідні дані [1,2,3], графічно уявімо таку картину роботи біофільтра (рис. 2). Тут співставленні умови роботи біофільтра за відсутності процесу вилучення забруднень і зі змінною навантаження $R = 58 \text{ кг БПК/ (і}^3 \cdot \text{дні} \cdot \text{дні}^3)$, причому $R_1 > R_2$. Припустимо, що на біофільтр надходить стічна вода з витратою $q_i, \text{ і}^3/\text{дні} \cdot \text{дні}^3$, причому величина R , така, що $L_{ex} \gg L'_{ex}$ (нормативне БПК).

$$R_1 = \acute{a} \cdot q \cdot L_{en}; \quad R_2 = \acute{a} \cdot q \cdot L_{ex} + (1 - \acute{a})qL_{en}$$

Очевидно, що одним із можливих варіантів досягнення нормативної величини L'_{ex} в цих умовах є зниження L_{ex} шляхом зменшення q на частину об'єму завантаження біофільтра. Подальше очищення стічної води, що залишилась, буде проходити спільно з частково очищеними стоками з метою зниження $\acute{A}\acute{I}\acute{E}_{20}$ до рівня L'_{ex} .

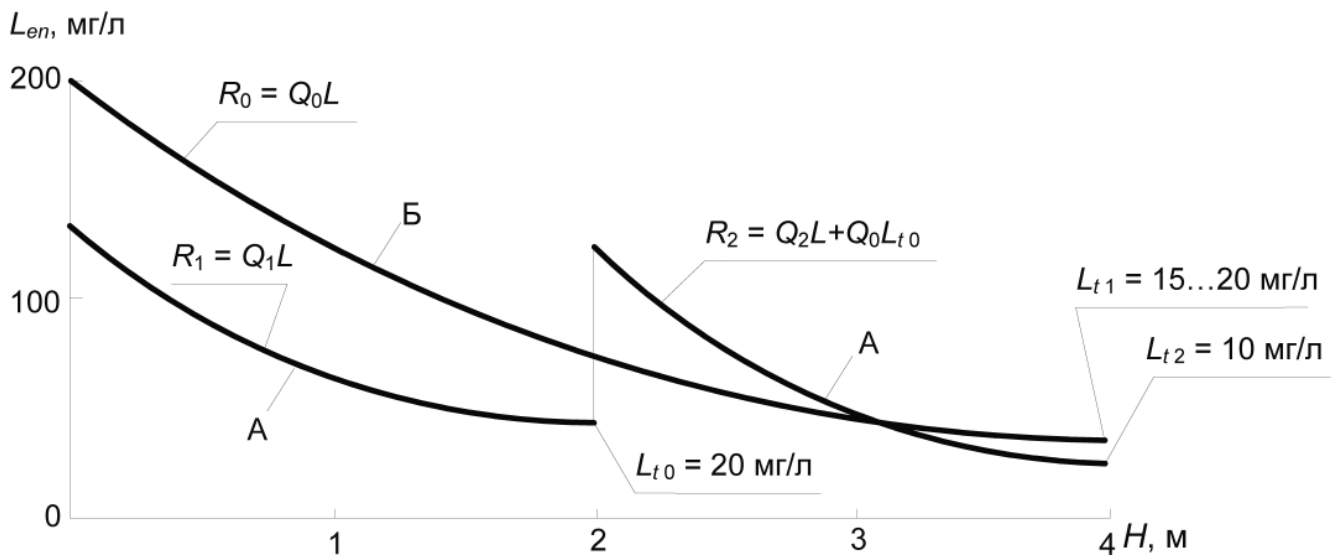


Рис.2. Зниження БСК стічних вод по висоті біофільтра з розосередженою подачею і біофільтра звичайної конструкції.

Практична реалізація технологічного рішення і наведених розрахунків здійснена на виробничих біофільтрах очисних споруд будинку відпочинку «Тетерів». Один із двох біофільтрів був переобладнаний за схемою з розосередженим впуском, а інший працював за класичною схемою.

Дослідний біофільтр з піно-скляним завантаженням розділений по висоті на дві зони: верхню (№1) висотою 2 м (об'єм завантаження 14 м^3) і нижню (№2) висотою 4 м (обсяг завантаження – 28 м^3). Неочищені стічні води подавалися у верхню частину кожної зони за допомогою зрошувача, що обертається, а очищений стік накопичувався в нижній частині блоку та відводився по існуючій мережі. Регулювання розподілення кількості стічних вод по окремим зонам біофільтра здійснювалося за допомогою засувок. Вибір проб для аналізу якості очищення стічної води проводився після зони № 2 в нижній частині біофільтрів. Оскільки експериментальний біофільтр експлуатувався до переобладнання більше 10 років, то біоплівка перебувала в гарному стані. Тривалість етапу експериментальних досліджень становила чотири місяці. За новою схемою споруда експлуатується і по теперішній час.

При загальному навантаженні на біофільтри за органічними забрудненнями $50 \text{ кг АІЕ}_{\text{аіа}}$ ефект вилучення забруднень на переобладнаному біофільтрі по АІЕ_{20} склав 95...97%, а на контрольному – 80%.

Необхідно відзначити, що біофільтр №1 (верхній ярус) забезпечує вилучення основної маси субстрату, що готує умови для успішної роботи біофільтра № 2 (нижній ярус) при порівняно високих навантаженнях. Це дає можливість збільшити окислювальну потужність і більш рівномірно використовувати весь обсяг біофільтра. При однаковій концентрації субстрату та його розосередженій подачі досягається більш низьке значення параметра L_{ex} (близько 5 мг /л), ніж при зосередженій подачі ($20 \dots 40 \text{ мг /л}$).

Висновок

На основі виконаної роботи можна зробити висновок, що створення схеми з розосередженої подачею води по висоті біофільтра, якщо біофільтр має розміри $D:H=1:4$, забезпечує рівномірне навантаження шарів завантаження біофільтра, дозволяє підвищити пропускну здатність споруди в середньому на 20%, і ефективність обробки стічних вод з глибоким протіканням масообмінних процесів в системі "рідина – плівка – субстрат". Ефект очистки на комплексі очисних споруд може бути досягнений 95...98%, з АІЕ_5 очищеної води $5 \dots 10 \text{ мг /л}$, забезпечуючи повну біологічну очистку для річок I категорії; досягається зменшення земельних площ.

Список літератури:

1. Тавартикладзе И.М. Сорбционные процессы в биофильтрах. – М.: Стройиздат, 1989., ил. – (Охрана окружающей природной среды). – 128 с.
2. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. – М.: Стройиздат, 1982. – 120с.
3. Яковлев С.В., Тавартикладзе И.М., Клапченко В.И. Биосорбционные процессы в биофильтрах // Химия и технология воды. Киев, 1983. – №4. – С.362 – 367.
4. Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л.: Химия, 1980. – 143 с.
5. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
6. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1980. – 129 с.

УДК 628.35

Б.Ф. ОХРИМЮК, кандидат технічних наук,

О.О. ГРИЦИНА, старший викладач

Національний університет водного господарства та природокористування (м.Рівне)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ АЕРОТЕНКА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ СПЛУК АЗОТУ

Наведено методику розрахунку багатозонного аеротенка з просторовим розділенням процесів шляхом послідовно розташованих зон для здійснення процесів денітрифікації окислення органіч-

них речовин і нітрифікації.

Ключові слова: окислення органічних речовин, нітрифікація, денітрифікація, аеротенк.

Приведена методика расчета многозонного аэротенка с пространственным разделением процессов путем последовательно расположенных зон для осуществления процессов, окисления органических веществ и нитрификации.

Ключевые слова: окисление органических веществ, нитрификация, денитрификация, аэротенк.

The method of multi-zone aerotank calculation with space division processes by consistently located zones for denitrification processes of organic substances oxidation and nitrification is given.

Key words: oxidation of organic substances, nitrification, denitrification, aerotank.

На сьогоднішній день існує декілька підходів для розрахунку об'ємів аеротенків при біологічній очистці з врахуванням процесів нітрифікації та денітрифікації. Відповідно до першого з них, розвинутого в СРСР [1], об'єми аеротенків визначаються на основі питомої швидкості окислення забруднень активним мулом та часу аерації. Приріст активного мулу, в цьому підході, не залежить від режиму роботи споруд біологічної очистки (температури, віку активного мулу, концентрації розчиненого кисню).

В довідковій літературі [2] запропонована методика визначення тривалості процесів нітрифікації і денітрифікації в спорудах по типу аеротенків. Зокрема, тривалість цих процесів залежить від різниці початкової і кінцевої концентрації забруднень, швидкості протікання цих процесів та концентрації активного мулу. Швидкість процесів нітрифікації і денітрифікації пропонується вибирати в залежності від початкової концентрації відповідно азоту аміаку і азоту нітратів. Дана методика не враховує вплив на процеси нітрифікації, денітрифікації таких факторів, як концентрація розчиненого кисню, маси мікроорганізмів, що здійснюють ці процеси, температура стічної води, рН тощо.

В рекомендаціях [3] наведено розроблену методику розрахунку аеротенків-змішувачів з врахуванням процесу нітрифікації амонійного азоту. Цією методикою передбачається, що процеси окислення органічних речовин та амонійного азоту відбуваються одночасно, а їх ефективність буде залежати від концентрації в активному мулі гетеротрофних і автотрофних мікроорганізмів.

Однак, наведена методика дозволяє розрахувати лише аеротенки-нітрифікатори, оскільки розрахунок зони денітрифікації передбачає використання штучного субстрату для здійснення цього процесу; не дозволяє розрахувати існуючі споруди в процесі їх реконструкції, що є характерним для очисних споруд України; розрахунок концентрації нітрифікуючих мікроорганізмів не враховує вплив температури; розрахунок ведеться достатньо орієнтовно; в результаті розрахунків необхідна висока концентрація активного мулу; за даною методикою не можливо розрахувати очищення в два і більше ступенів.

На сьогодні і в Україні, і в Росії проваджено дослідження, направлені на модернізацію методів розрахунків, закладених в [1]. Ці дослідження дають можливість визначати параметри нових і реконструйованих очисних споруд для забезпечення глибокого видалення сполук азоту і фосфору [4-6].

На ефективність вище вказаних процесів впливають багато параметрів, які не враховуються в запропонованих методах розрахунку на базі швидкостей нітрифікації і денітрифікації, або мають непряму залежність.

Інший підхід, який застосовується в більшості європейських країн при розрахунку споруд біологічної очистки, передбачає приймати одним із головних параметрів вік мулу, який забезпечує ефективне протікання процесів очистки стічних вод. Об'єм аеротенків визначається за приростом активного мулу, витратою, віком мулу і робочою концентрацією мулу в аеротенку.

В США для розрахунку аеротенків найбільше розповсюдження отримала методика, розроблена агенством по екологічній безпеці EPA [7]. В країнах Західної Європи для розрахунку об'ємів споруд найбільше поширення отримала методика розрахунку аеротенків для видалення біогенних елементів, розроблена Німецькою водною асоціацією DWA [8,9].

Найбільш поширеною і загальноприйнятою методикою в Європі вважається німецький стандарт ATV-DVWK-A 131E [9]. В основу розрахунку аеротенків закладено визначення мінімального аероб-

ного віку активного мулу, необхідного для зберігання в ньому нітрифікуючих бактерій.

Недоліком наведеної методики є те, що вона не дозволяє розрахувати існуючі споруди з метою їх реконструкції, що є характерним для очисних споруд України; при розрахунках не враховується необхідний ступінь очищення стічних вод від сполук азоту, концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, зміна співвідношення між концентраціями окремих груп мікроорганізмів при зміні початкових концентрацій забруднень, віку мулу; вік активного мулу на очисних спорудах каналізації складає не менше 10 діб, що перевищує значення, розраховані за методикою [10]; відсутня можливість розрахувати дво- і більше ступеневу очистку; визначення об'ємів зон денітрифікації здійснюється на основі відношення об'єму даної зони до зони аерації, що не завжди дозволяє оцінити вірність розрахунку.

В напрямку біологічного очищення стічних вод в системах з активним мулом останнім часом розробляються більш складні моделі очистки, які, з однієї сторони, більш детально розглядають динаміку зміни мулового середовища мікроорганізмів, а з іншого боку намагаються розглядати процеси комплексного видалення органічних забруднень азоту й фосфору. У цьому плані здобувають популярність моделі, розроблені групою закордонних фахівців IAWQ.

Як відзначають фахівці, складні моделі, що пропонуються в останній час, мають ряд недоліків [11]. Щоб використати ці моделі для обґрунтування роботи реальних очисних споруд, потрібно знати велику кількість вихідних коефіцієнтів і констант. Малоімовірно, що при вирішенні реальних задач ця інформація буде відома. Самі автори стверджують, що апробація запропонованих моделей трудомістка й вимагатиме багато часу. Такі великі і складні моделі кінетики біологічного очищення, незважаючи на всю їх повноту і корисність в загальному розумінні системи, викликають великі проблеми для їх реалізації (складна розмірність, недостатня можливість ідентифікації параметрів, високі витрати на калібрування й обґрунтування моделей і т.д.) [11].

Методи розрахунку біологічного очищення стічних вод розроблені найбільш повно переважно для процесу окислення органічних забруднень і в меншій мірі це стосується процесів нітрифікації і денітрифікації. При цьому обґрунтування умов і передумов використання того чи іншого рівняння кінетики процесу в конкретних випадках очищення, як правило, відсутні.

Для умов реакторів, що працюють по схемі змішувача, процеси окислення органічних речовин, нітрифікації та денітрифікації можуть бути описані системою таких рівнянь:

а) нестационарне рівняння матеріального балансу маси речовини в реакторі

$$V \frac{dS_{Ci}}{dt} = Q(S_{C0i} - S_{Cei}) - V(R_{Ci} + R_{Di}), \quad (1)$$

$$V \frac{dS_{Ni}}{dt} = Q(S_{N0i} - S_{Nei}) - V \cdot R_{Ni}, \quad (2)$$

$$V \frac{dS_{Di}}{dt} = Q(S_{D0i} - S_{Dei}) - V(R_{Di} - R_{Ni}); \quad (3)$$

б) нестационарне рівняння матеріального балансу для мікробної біомаси

$$V \frac{dX_i}{dt} = Q(X_{0i} - X_{ei}) + V \cdot R_{Xi} - Vb_i X_{ei}, \quad (4)$$

де dS_{Ci}/dt , dS_{Ni}/dt , dS_{Di}/dt – швидкість зниження концентрації, відповідно, органічних речовин, амонійного азоту, нітратів; dX_i/dt – швидкість росту мікроорганізмів, V – робочий об'єм реактора, Q – об'ємна витрата стічної рідини, Y_i – економічний коефіцієнт біомаси, S_{C0i} , S_{N0i} , S_{D0i} , S_{Cei} , S_{Nei} , S_{Dei} – відповідно, концентрації органічних речовин, амонійного азоту, нітратів у вхідній і очищеній рідині, X_{0i} , X_{ei} – відповідно, концентрації мікроорганізмів у вхідній і очищеній рідині, b_i – швидкість самоокислення, що характеризує відмирання мікроорганізмів, R_{Ci} , R_{Ni} , R_{Di} – відповідно, швидкість процесів окислення органічних речовин, нітрифікації та денітрифікації, R_{Xi} – швидкість росту мікроорганізмів активного мулу, η – коефіцієнт, що враховує зменшення швидкості окислення органічних речовин в анаеробних умовах.

Співвідношення між масами автотрофної і гетеротрофної біомаси активного мулу пропонується визначати з виразу

$$\frac{X_{Ae}}{X_{He}} = \frac{Y_A \cdot \Delta S_N \cdot z_N \cdot (1 - b_H \theta)}{(Y_H \cdot \Delta S_S + Y_D \cdot \Delta S_D \cdot z_D) \cdot (1 - b_A \theta)}, \quad (5)$$

де Y_A, Y_H – економічний коефіцієнт авто- і гетеротрофної біомаси, відповідно.

Таким чином, рівняння матеріального балансу (1-3) для i -ї зони n – зонного аеротенка для стаціонарних умов будуть мати вигляд

$$\frac{A_i \cdot Q_{en} \cdot S_{co}^{en} + r \cdot Q_{en} \cdot S_{ce} + r_i \cdot Q_i \cdot S_{cri} + Q_{i-1} \cdot S_{ci-1}}{Q_i} - S_{cei} - T_i \cdot R_{Ci} - T_i \cdot R_{Di} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{A_i \cdot Q_{en} \cdot S_{no}^{en} + r \cdot Q_{en} \cdot S_{ne} + r_i \cdot Q_i \cdot S_{nri} + Q_{i-1} \cdot S_{ni-1}}{Q_i} - S_{nei} - T_i \cdot R_{Ni} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{A_i \cdot Q_{en} \cdot S_{do}^{en} + r \cdot Q_{en} \cdot S_{de} + r_i \cdot Q_i \cdot S_{dri} + Q_{i-1} \cdot S_{di-1}}{Q_i} - S_{dei} + T_i \cdot R_{Ni} - T_i \cdot R_{Di} = 0, \quad (8)$$

де A_i – частка вхідної води, що подається в i -ту зону аеротенка; Q_{en} – витрата води на вході в аеротенк, м³/год; S_{en}^{ic} – концентрація відповідних забруднень у вхідній воді, мг/л; r – ступінь рециркуляції активного мулу з вторинних відстійників; r_i – ступінь внутрішнього рециркуляції; S_{in} – концентрація забруднень, що надходять з внутрішнім рециклом, мг/л; Q_{i-1} – витрата води, що надходить з попередньої секції, м³/год; S_{i-1} – концентрація забруднень, що надходить з попередньої зони, мг/л; Q_i – витрата води i -ї зони, м³/год.

На основі рішення системи рівнянь (6-8) та з врахуванням рівнянь (4,5) запропонована методика розрахунку, яка може використовуватися для різноманітних технологічних схем, в яких відбувається поділ аеротенка на зони. Технологічні схеми, що будуються на сучасних уявленнях кінетики проходження процесів видалення сполук азоту і органічних речовин передбачають просторове розділення вказаних процесів в багатозонному аеротенку (рис. 1).

Потік неочищеної води, що містить розчинені забруднення з концентрацією S_o , розподіляється між n послідовно розташованими зонами аеротенка. Коефіцієнти A_i встановлюють долю повного потоку Q_{en} , що спрямовується в i -ту зону. В кожній зоні об'ємом V_i можна створювати різні кисневі умови і в залежності від них пріоритетними можуть здійснюватися або процеси нітрифікації і окислення розчинених речовин або денітрифікації.

Методика розрахунку параметрів біологічної очистки стічних вод від органічних речовин та сполук азоту здійснюється згідно математичної моделі процесів комплексного очищення в аеротенках активним мулом із змішаними мікробними культурами. При розрахунку зон в залежності від завдань, які необхідно вирішити, розглядаються два завдання. В першому необхідно встановити зв'язок між концентрацією забруднюючих речовин на вході в зону S_o і на виході з неї S_e , часом перебування стічної речовини в реакторі T і концентрацією мікроорганізмів X , що здійснюють очищення від даного забруднення, при фіксованій температурі t° . В другому завданні слід вирішити обернену задачу, коли необхідно знайти час перебування стічних вод в i -й зоні.

Задача 1. Розрахувати об'єми зони денітрифікації та зони окислення органічних речовин і нітрифікації.

1. Для здійснення розрахунку необхідні такі початкові дані:

витрата стічних вод, Q_{en} ; концентрація органічних речовин в стічних водах, що надходять на очисні споруди, S_{Ci} ; амонійного азоту, S_{Ni} ; нітратного азоту, S_{Di} в стічних водах, що надходять на очисні споруди; концентрація розчинених органічних речовин, S_{Ce} ; амонійного азоту, S_{Ne} ; нітратного азоту, S_{De} в очищених стічних водах; температура стічних вод, t .

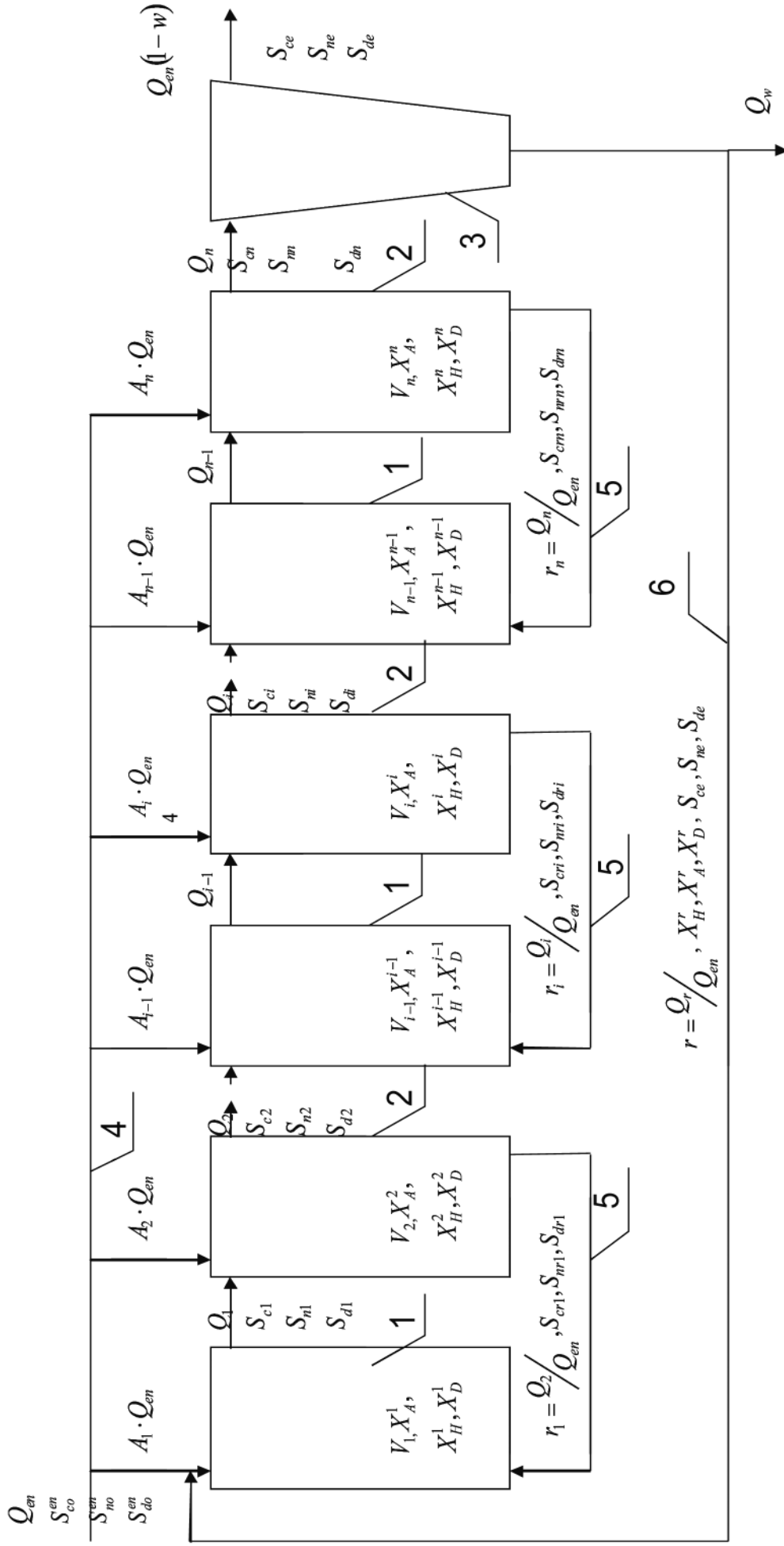


Рис. 1. Схематичне зображення багатозонної системи з активним мулом:

- 1** – денітрифікатор; **2** – аеротенк-нітрифікатор; **3** – вторинний відстійник; **4** – трубопровід подачі неочищених стічних вод; **5** – внутрішня рециркуляція мулової суміші; **6** – рециркуляційний активний мул.

2. Необхідно вибрати наступні технологічні величини:
 - концентрація активного мулу, X ;
 - муловий індекс J ;
 - концентрація розчиненого кисню в аноксидній зоні, $S_{O_2}^{anox}$.
3. Концентрація розчиненого кисню в аеробній зоні, $S_{O_2}^{aer}$. Розрахувати необхідний ступінь рециркуляції R та з врахуванням цієї величини та частки вхідної води \dot{A}_p , що подається в зону аеротенка, визначити початкові концентрації органічних речовин S_{Ci} , амонійного азоту S_{Ni} , нітратного азоту S_{Di} в стічних водах.
4. Згідно прийнятих значень величин коефіцієнтів і констант, розрахувати концентрації:
 - X_H – концентрація гетеротрофних мікроорганізмів, що здійснюють окислення розчинених в воді органічних речовин;
 - X_A – концентрація автотрофних мікроорганізмів активного мулу;
 - X_D – концентрація денітрифікуючих мікроорганізмів активного мулу.
5. Згідно прийнятих значень величин коефіцієнтів і констант, розрахувати необхідну тривалість перебування стічних вод в зонах аеротенка для окислення органічних речовин, амонійного азоту та відновлення азоту нітратів T_C , T_N , T_D . Оскільки процеси окислення амонійного азоту та органічних речовин здійснюються в одній зоні аеротенка, то за розрахункову тривалість необхідно прийняти більшу величину тривалості, що розрахована для цих процесів. Перевірити, чи при даній тривалості перебування стічних вод в зоні аерації вік мулу буде більше 6 діб. При меншій величині необхідну тривалість аерації прийняти відповідно до віку мулу 6 діб.
6. З метою зменшення об'ємів зон та на основі відповідних техніко-економічних обґрунтувань розрахувати об'єми цих зон для дво- і більше ступеневої очистки, з відповідним розподілом вхідного потоку стічних вод та з варіюванням інших параметрів, зокрема, концентрації розчиненого кисню в зоні аерації, концентрації активного мулу, влаштування внутрішньої рециркуляції нітратвміщуючої суміші та інших заходів.
7. Розрахувати необхідний об'єм зон денітрифікації та зон окислення органічних речовин і нітрифікації.

Задача 2. Розрахувати кінцеві концентрації органічних речовин, амонійного азоту та нітратного азоту при заданому об'ємі аеротенка.

1. Для здійснення розрахунку необхідні такі початкові дані: витрата стічних вод, Q_{en} ; концентрація розчинених в воді органічних речовин, S_{Ci} ; амонійного азоту, S_{Ni} ; нітратного азоту, S_{Di} , в стічних водах, що надходять на очисні споруди; температура стічних вод, t .
2. Необхідно вибрати наступні технологічні величини:
 - концентрація активного мулу, X ;
 - муловий індекс J ;
 - концентрація розчиненого кисню в аноксидній зоні, $S_{O_2}^{anox}$.
 - концентрація розчиненого кисню в аеробній зоні, $S_{O_2}^{aer}$.
3. Розрахувати необхідний ступінь рециркуляції R та з врахуванням цієї величини та частки вхідної води \dot{A}_p , що подається в зону аеротенка, визначити початкові концентрації органічних речовин S_{Ci} , амонійного азоту S_{Ni} , нітратного азоту S_{Di} .
4. Згідно прийнятих значень величин коефіцієнтів і констант, розрахувати концентрації:
 - X_H – концентрація гетеротрофних мікроорганізмів, що здійснюють окислення розчинених в воді органічних речовин;
 - X_A – концентрація автотрофних мікроорганізмів активного мулу;
 - X_D – концентрація денітрифікуючих мікроорганізмів активного мулу.
5. Розрахувати тривалість T , перебування стічних вод в аеротенку, знаючи витрату стічних вод та об'єм аеротенка.
6. Виконати попередній розподіл часу для зон денітрифікації T^D та зон окислення органічних речовин і нітрифікації T^C , T^N .
7. Згідно прийнятих значень величин коефіцієнтів і констант, розрахувати кінцеву концентрацію органічних речовин S_{Ce} , амонійного азоту, S_{Ne} та азоту нітратів S_{De} . Оскільки процеси окислення

амонійного азоту та органічних речовин здійснюються в одній зоні аеротенка, то розрахункова тривалість перебування стічних вод в цій зоні буде однаковою $T^C = T^N$.

8. З метою доведення необхідного ступеня очищення до вимог, розрахувати кінцеві концентрації органічних речовин, амонійного азоту, нітратного азоту для дво- і більше ступеневої очистки, з відповідним розподілом вхідного потоку стічних вод \dot{A}_i , та з варіюванням інших параметрів, зокрема, концентрації розчиненого кисню в зоні аерації, концентрації активного мулу, влаштування внутрішньої рециркуляції нітратвміщуючої суміші та інших заходів.

Список літератури

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
2. Самохин В.Н. Канализация населенных мест и промышленных предприятий (справочник проектировщика) / Самохин В.Н. и др. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. Проектирование сооружений для очистки сточных вод (справочное пособие к СНиП). М.: Стройиздат, 1990. – 192с.
4. Морозова К.М. Принципы расчета систем биологической очистки сточных вод / К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №1. – С.26–31.
5. Поліщук О.В. Денітрифікація міських стічних вод в коридорних аеротенках: Автореф.дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / Поліщук Олександр Валерійович – К., 2007. – 18 с.
6. Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Мишуков Б.Г., Соловьева Е. А., Керов В. А., Зверева Л. Н. – СПб.: Издательство журнала «Вода: технология и экология», 2008. – 144 с.
7. Process Design Manuel for Nitrogen Control. – U.S. Environmental Protection Agency. (EPA/625/R-93/010). – Office of Research and Development. – Cincinnati, OH. – 1993. – 311 p.
8. Kayser R. New German design for single stage activated sludge plants / R. Kayser // Water Science and Technology. – 2000. – Vol. 41. – № 9. – P. 139–145.
9. Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimension of Single-Stage Activated Sludge Plants. – 2000. – 57 p.
10. Мешенгиссер Ю.М. Удаление азота и фосфора активным илом / Ю.М. Мешенгиссер, А.И. Щетинин, М.А. Есин // Научно-технический сборник ХГУСА. – 2006. – №74. – С.36–45.
11. Николаев А.Н. Модель биологической очистки городских сточных вод в системе аэротенк – вторичный отстойник / А.Н. Николаев, Н.Ю. Большаков // Вода и экология. – 2001. – №4. – С.27–34.

УДК 628.35.60

О.В.ЮЩЕНКО, студентка

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИДАЛЕННЯ АГРЕСИВНИХ ГАЗІВ ІЗ СТИЧНИХ ВОД ВОДОЛІКУВАЛЬНИЦЬ

В статті досліджується проблема вилучення агресивних газів із санаторіїв Закарпаття, в яких присутні водолікувальні комплекси. Розглянута і досліджена установка дегазатора, для вилучення агресивних газів з цих вод.

Ключові слова: агресивні гази, водолікувальниці, вуглекислота, стічні води.

В статье исследуется проблема изъятия агрессивных газов из санаториев Закарпаття, в которых присутствуют водолечебные комплексы. Рассмотрена и исследована установка дегазатора, для изъятия агрессивных газов из этих вод.

Ключевые слова: агрессивные газы, водолечебница, углекислота, сточные воды.

The paper investigates the problem of removing aggressive gases from Transcarpathian health resorts,

which include bath complexes. Considered and analyzed plant degasser for removal of aggressive gases from these waters.

Key words: aggressive gases, health resort, carbon dioxide, waste water.

Стан проблеми

Специфіка очистки стічних вод лікувально-оздоровчих закладів, у складі яких є водолікувальні комплекси, полягає в тому, що в цих водах можуть бути присутні агресивні гази, які здатні, з одного боку, викликати корозію та руйнування труб, арматури, будівельних конструкцій, одночасно спричиняючи прояви уповільнення процесів в спорудах біохімічної очистки[3]. Крім того, двоокис вуглецю є корозійним по відношенню до бетону, метан – вибухонебезпечний, а сірководень має неприємний запах.

Гази можуть потрапляти в воду також при пом'якшенні води, іонітовому знесоленні, незалізненні та деманганації підземних вод.

Термін роботи трубопроводів теплових мереж і споруд водопостачання і водовідведення на дегазованій воді в 3-4 рази більший, ніж на не дегазованій.

Агресивні гази в різних концентраціях присутні, наприклад, в лікувально-оздоровчих закладах Закарпаття, Миргорода, Хмільника тощо. В табл.1 наведено деякі фізико-хімічні показники, характерні для вод різних санаторних об'єктів України за дослідженнями даними кафедри гідравліки та водовідведення КНУБА.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники мінеральних вод водолікувальних закладів Закарпаття [1]

Показники	Санаторії					
	«Поляна»	«Сонячне Закарпаття»	«Квітка полонини»	«Синяк»	«Верховина»	«Шаян»
H ₂ S, мг/л				41	2	
CO ₂ , г/л	1,7	1,6	1,5	-	2,0	1,8
Загальний солевміст г/л	9	9	10	11	4	6
Температура, °C	13	12	13	11	13	12
pH	6,6	6,7	6,5		6,4	6,6

За результатами досліджень очисних споруд санаторіїв Закарпаття було виявлено, що на біофільтрах практично повністю відсутня біоплівка, що може свідчити про відсутність процесів сорбції. Причиною цього є, як правило, наявність в стічних водах агресивного сірководню та вуглекислого газу.

Очевидно перед подачею таких стічних вод на біологічну очистку необхідно видаляти з них газ. Видалення із води розчинених газів реалізується шляхом її дегазації (деаерації).

Існуючі методи дегазації води поділяються на фізичні, хімічні та термічні. Крім того, для вилучення сірководню використовується біохімічний метод, оснований на окислювальній спроможності мікроорганізмів.

Сутність хімічних методів полягає у використанні певних реагентів, які зв'язують розчинені у воді гази.

Сутність фізичних методів дегазації полягає в наступному[10]:

1. Вода, яка містить видаляємий газ, парціальний тиск якого в повітрі близький до нуля, приводиться до контакту з повітрям, куди й переходить даний газ.
2. Створюються умови, при яких розчинність газу у воді стає помітно малою.

Перший спосіб використовується для видалення вільної вуглекислоти і сірководню, парціальний тиск в яких в атмосферному повітрі близький до нуля.

Другий метод приймається для газів з великим парціальним тиском в атмосферному повітрі, внаслідок чого аерацією його видалити неможливо. В цьому випадку воду доводять до кипіння, коли розчинність газів в ній падає до нуля. Цей спосіб використовується, наприклад, для видалення із води кисню.

Видалення із води розчинених газів здійснюється на дегазаторах різних типів, які за їх конструктивним виконанням, характером руху води і повітря і за умовами, в яких здійснюється процес дегазації, можна класифікувати наступним чином [7]:

1. Плівкові дегазатори, які являють собою колони, завантажені різними насадками (дерев'яною, кільцями Рашига та ін.), по яких вода стікає тонкою плівкою. Насадка слугує для створення розвиненої поверхні контакту води та повітря, що подається вентилятором назустріч потоку води.
2. Барботажні дегазатори, в яких через шар води продувається свіже повітря. Ці дегазатори потребують значних експлуатаційних затрат і мають обмежену сферу застосування.
3. Пінні дегазатори, основані на процесі десорбції газів повітрям із пінного шару, створюваного в робочій зоні апарату. Основним елементом такого дегазатора є перфорована поличка, вздовж якої тонким шаром протікає вода, зпінювана потоком повітря, що надходить через отвори.
4. Вакуумно-ежекційні дегазатори, основані на десорбції газів за рахунок вакууму, який виникає в потоці рідини при її ежектуванні. В даних апаратах десорбція проходить в результаті різкого пониження тиску. У вакуумній камері за рахунок інтенсивного руху води, де проходить її миттєве скипання, яке супроводжується десорбцією розчинених газів. Ці апарати показали високу ефективність десорбції газів в технології знезалінення, деманганації, пом'якшення та знесолення води.
5. Вакуумні дегазатори в яких відбувається десорбція газів при створенні вакууму в робочій зоні апарату, з підігрівом або без підігріву оброблюваної води при використанні вакуумних пристроїв (вакуум-насоси, пароструминні або водоструминні ежектори). Такі апарати використовуються при необхідності або одночасного, або окремого видалення вуглекислоти і кисню.

Характеристика установки

Майже усі вищевказані апарати в основному розраховані на витраті великої кількості повітря з низьким коефіцієнтом його використання. Роздільна подача води і повітря ускладнює схему і робить її досить дорогою.

В КНУБА [2] розроблена і впроваджена ефективна і проста в експлуатації установка дегазатора, принципова схема показана на рис. 1

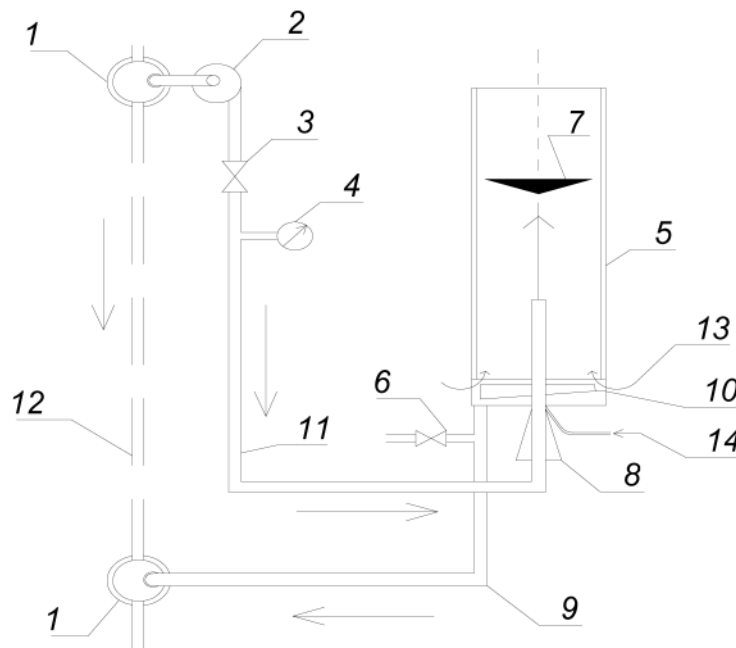


Рис.1. Схема дегазаційної установки:

- 1 – каналізаційний колодязь, 2 – насос, 3 – вентиль, 4 – манометр, 5 – корпус установки, 6 – відбір проб, 7 – насадок (відбійник), 8 – ежектор, 9 – випуск очищеної води, 10 – збірний басейн, 11 – подача води, 12 – каналізаційна мережа, 13,14 – вхід атмосферного повітря

Дегазатор було досліджено на стічних водах водолікувальниці санаторію «Квітка полонини», з використанням мінеральних вод «Поляна Квасова» і «Свалява». Установа працює наступним чином. Стічні води відбираються із каналізаційного колектора водолікувальниці насосом. Для вимірювання тиску рідини, регулювання витрати і підсмоктування атмосферного повітря встановлені манометр, засувка та ежектор. Водоповітряна суміш з напором 30...45 м потрапляє в циліндр. Всередині циліндру на висоті 0,5...0,6 м встановлюється насадок (відбійник), завдяки якому струмінь потрапляючої рідини розбризкується і стікає по стінках циліндру в збірний басейн, звідки відводиться в каналізаційну мережу.

Водоповітряна суміш, що потрапляє під тиском в порожнину циліндру, ежектує атмосферне повітря, в якому парціальний тиск вуглекислого газу наближається до нуля.

Для попередження забруднення навколишнього атмосферного повітря в верхній частині циліндру (за насадком) встановлюються електроди іонізації, які забезпечують швидкісне окиснення агресивних газів, що виходять з дегазатору. Такий метод утилізації сірководню використовує Укркурортпроект на багатьох працюючих об'єктах для видалення газів з питних і стічних вод[1].

Результати експлуатації даного апарату приведені в рис. 2 при середній температурі води 35...37°C, повітря 13...15°C, витраті води 0,45...0,48 м³/год, напорі 40...45 м.

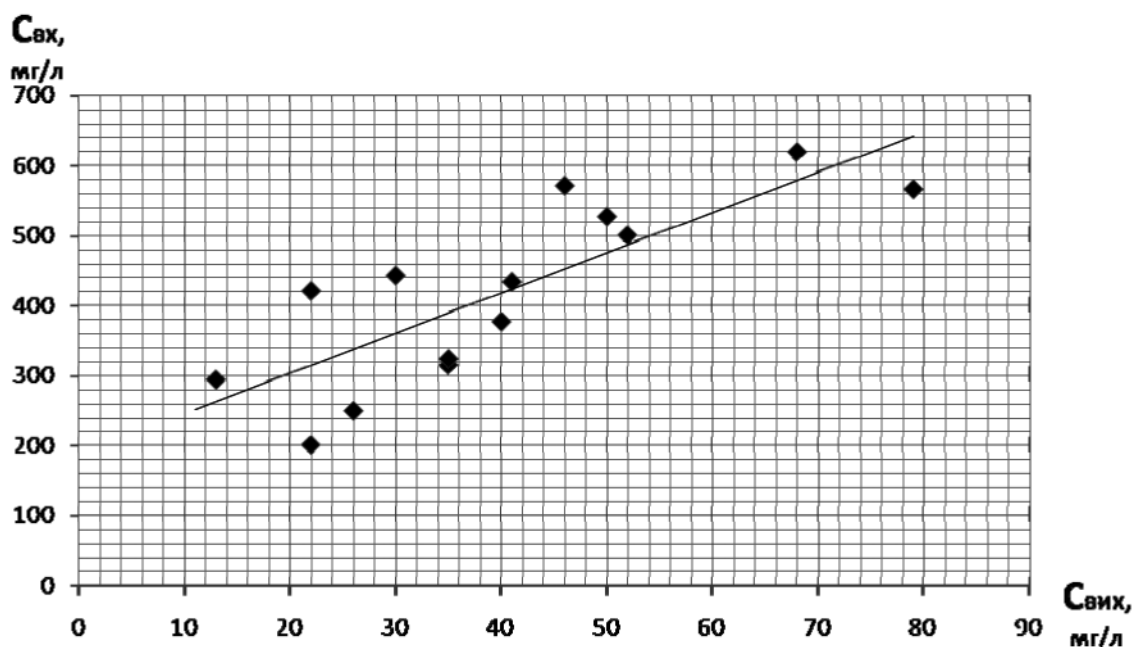


Рис.2. Дегазація CO₂ із стічних вод водолікувальниці

Дегазатор забезпечує вилучення вуглекислого газу на 95% з кінцевим вмістом вуглекислоти приблизно 20...30 мг/л.

Основи процесу дегазації

Десорбція газу зводиться до його послідовної дифузії на межі розділу фаз – «рідина - газ», яка чинить опір процесу десорбції. Величину, зворотною опорам шарів називають коефіцієнтом десорбції.

В рівновазі розчинність газу в рідині є досить незначною, величиною яка залежить від природи газу та рідини, температури і тиску в системі. У випадку газових сумішей розчинність компонентів залежить від парціального тиску кожного з них. Чим вища температура, тим менша розчинність; чим вище тиск, тим розчинність більше. Залежність між розчинністю газу і тиском визначається за законом Генрі, згідно якого при постійній температурі маса газу, розчиненого в даному об'ємі рідини, пропорційна тиску газу, з яким ця рідина знаходиться в рівновазі. Більшість середовищ являють собою розчинені водні розчини, і для простоти їх можна вважати схожими по структурі з водою.

Для описання переносу (десорбції) газу в рідині зазвичай використовують три гідродинамічні моделі [5]:

- модель двох плівок Льюїса-Уїтмена;
- модель проникності із систематично оновлюваною поверхнею (модель Хігбі);
- модель проникності з випадково оновлюваною поверхнею (модель Данквертса).

Для опису фізичної десорбції газів зазвичай використовують модель Льюїса-Уїтмена.

Згідно даної моделі, на поверхні розділу фаз «газ-рідина» утворюються дві тонкі плівки, які тісно прилягають до цієї поверхні. Плівки в основному нерухомі, а в товщі газової і рідинної фаз відбувається турбулентний рух. Абсорбція газу здійснюється в ході стаціонарних процесів молекулярної дифузії в цих двох нерухомих плівках. Вважається, що на поверхні розділу фаз «газ-рідина» миттєво встановлюється рівновага, а швидкість десорбції визначається відносними швидкостями дифузії в плівках. Якщо десорбція здійснюється з бульбашок повітря, диспергованих в рідині а радіус кривизни бульбашок на декілька порядків перевищує товщину гіпотетичної плівки, тоді транспорт газу з рідини в повітря можна уявити так, як представлено на рис.3.

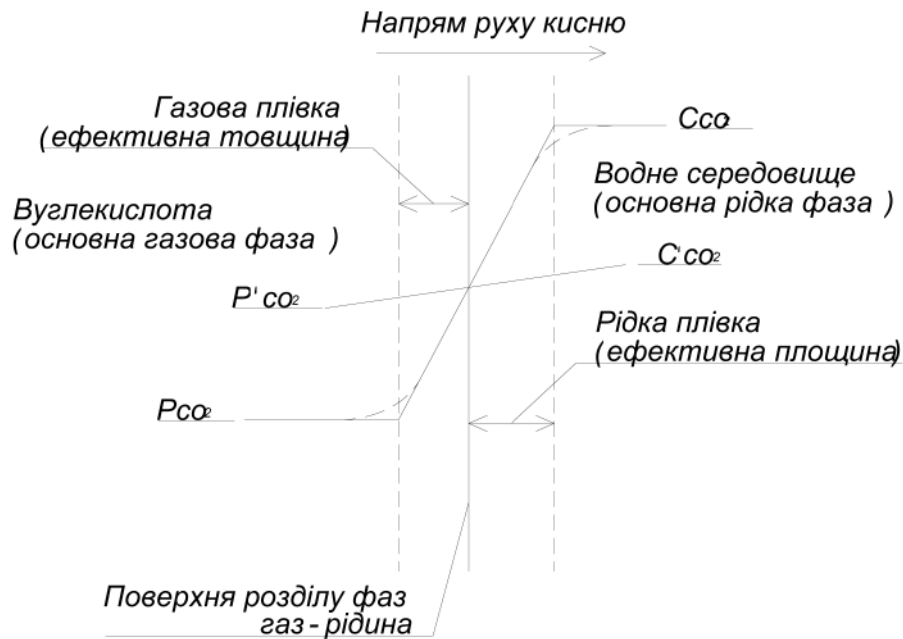


Рис.3. Модель Уїтмена для двох плівок, при фізичній абсорбції (транспорті) вуглекислоти із водного середовища в повітря.

В газовій суміші парціальний тиск вуглекислоти змінюється від парціального тиску в газовій плівці безпосередньо на границі розділу фаз P'_{CO_2} до парціального тиску у всьому об'ємі газової фази P_{CO_2} ; відповідно, в рідкій плівці концентрація розчиненої вуглекислоти змінюється від концентрації у всьому об'ємі рідини C_{CO_2} до рівноважній концентрації при насиченні C'_{CO_2} , що відповідає P'_{CO_2} .

Виконаємо порівняльну характеристику дегазаторів, використавши дані по термічній, хімічній, мембранній та вакуумній дегазаціях [4] (табл.2)

Таблиця 2

Порівняння техніко-економічних показників різних методів дегазації води

Параметр порівняння	Запропонована конструкція	Мембранна дегазація	Термічна дегазація	Хімічна дегазація	Дегазація з кільцями Рошига
Витрати електроенергії	–	+	+	–	–
Затрати на хімічні реагенти	+	+	+	–	+
Експлуатаційні витрати	+	+	–	–	+
Капітальні затрати	+	–	+/-	+	+/-
Площа, яку займає обладнання	+	–	–	+	–

Параметр порівняння	Запропонована конструкція	Мембранна дегазація	Термічна дегазація	Хімічна дегазація	Дегазація з кільцями Рошига
Гнучкість процесу при коливанні продуктивності системи	+/-	+	-	+	-
Універсальність процесу дегазації	+	-	+	-	+/-
Екологічна чистота	+	+/- (реагенти тільки на промивку)	+	-	+
Погіршення якості по іншим показникам	-	-	+/-	+	-
Змішування фаз і винос одного середовища з іншим	-	-	-	-	-
Відсутність підготовки повітря	+	-	-	-	+/-
Глибока дегазації (менше 5 мкг/л)	+	+	-	+	-

«+» – характерно для даного методу

«+/-» – характерно не в повній мірі

«-» – не характерно для даного методу

Запропонована установка майже по всім показникам випереджає інші відомі методи дегазації води, оскільки вона не потребує вводу ніяких реагентів, на відміну від хімічного методу, що в подальшому виключає можливість погіршення інших показників якості води. За своїми конструктивними розмірами вона не займає багато місця, а також легка в експлуатації і не потребує великих затрат електроенергії. Крім того дегазатор даного типу дає можливість глибокої очистки, чого не можна досягти за допомогою термічної дегазації. Все це в сумі впливає на зменшення капітальних затрат установки.

При використанні дегазаторів із насадками Рашига або з дерев'яними хордовими насадками необхідно обов'язково враховувати втрати напору на цих насадках. Оскільки вода, яка подається на дегазатори, потрапляє до біологічної очистки, на цих насадках можливе біобростання, що ускладнює експлуатацію установок.

При хімічній дегазації необхідно додавати у воду реагенти, внаслідок чого можливе подальше забруднення по іншим показникам якості. Необхідне додаткове устаткування для збереження реагентів, їх подальшого змішування і подачі на дегазацію, а також для їх утилізації. Все це потребує велику територію.

Суть Мембранної дегазації полягає в мікропористих поліволоконних мембранах, саме за рахунок гідрофобних властивостей яких досягається ефект проникнення тільки газової фази, а рідина не змочує поверхню пор і не проходить крізь них. Це є досить ефективним, тому що не відбувається при цьому перемішування фаз газ-рідина.

Термічна дегазація полягає у нагрівання води яка піддається дегазації, дифузії розчинених у воді газів і їх десорбції. Швидкість дифузії залежить від в'язкості і поверхневого натягу і з ростом температури дифузійний процес проходить швидше. Суттєвим недоліком даного методу є необхідність підігрівання води. Для подальшої очистки води, необхідно її охолодити, що теж потребує додаткового обладнання.

Можемо порівняти середні розміри установок для тієї чи іншої витрати води.

З рис.4 видно, що об'єм установки, що розглядається, в конструктивному плані значно менший від усіх інших. Варто відмітити, що при проектуванні нових систем, а особливо при реконструкції

старих існуючих схем дегазації води площа установки відіграє значну роль. Оскільки частіше за все реконструкція проводиться внаслідок зносу старої системи, для збільшення пропускної спроможності, то відповідно мають збільшитися і об'єми установки. А якщо об'єкт є обмеженим в території, то вимагаються додаткові затрати часу і коштів.

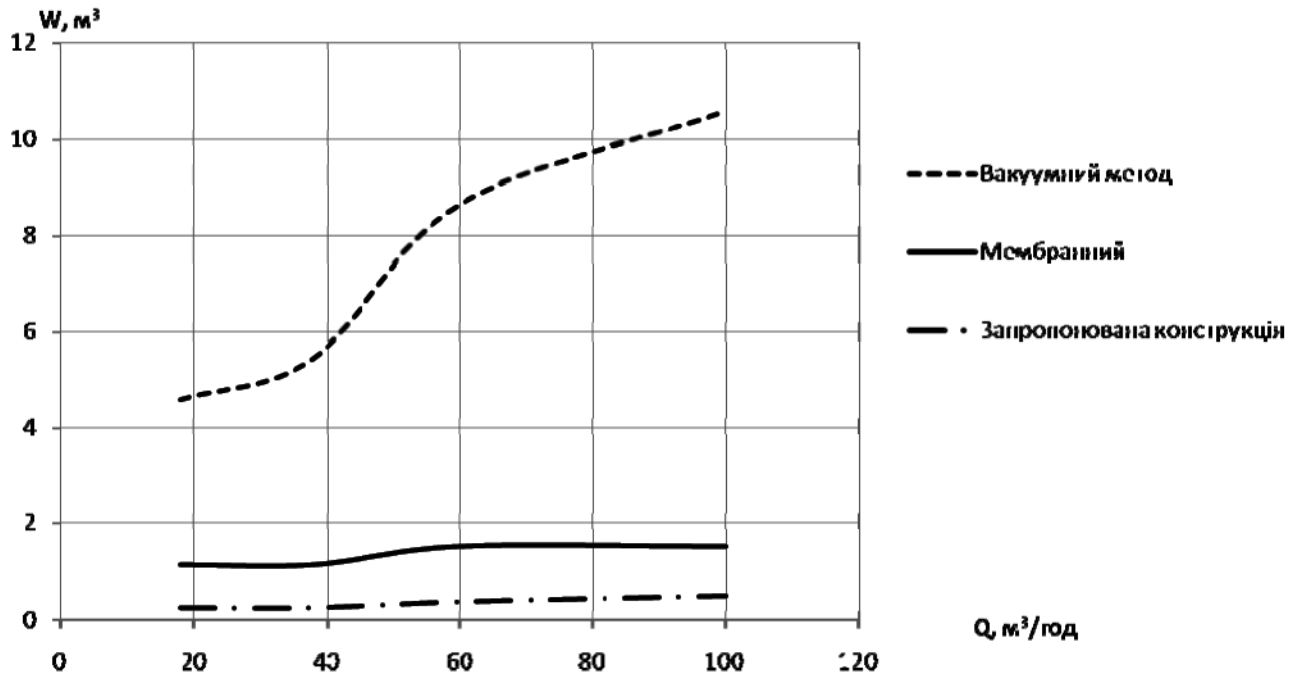


Рис.4. Порівняння конструктивних розмірів основних методів дегазації

Основні методики розрахунку

Розрахунок дегазатору полягає у визначенні необхідної площі поверхні контакту α рідкої та газоподібної фаз для забезпечення заданого ефекту дегазації.

Основними елементами, які необхідно знати при розрахунку є:

- кількість видаленої вуглекислоти;
- площа поверхні розділу фаз, що чисельно буде дорівнювати площі поперечного перерізу;
- час переходу газу із рідини в повітря;
- швидкість переходу рідини в повітря.

Кількість видаленої вуглекислоти знаходять за формулою [9]:

$$G = Q(C_0 - C_e),$$

а площу поверхні розділу фаз за виразом:

$$\alpha = \frac{G}{kC_{\text{сеп}}} = \frac{Q(C_0 - C_e)}{1000k\Delta C_{\text{сеп}}},$$

де, Q – витрата води, м³/год; C_0, C_e – концентрації вуглекислоти відповідно початкова і кінцева, кг/м³; k – коефіцієнт десорбції; $\Delta C_{\text{сеп}}$ – середня рухома сила процесу десорбції, кг/м³ [8]:

$$\Delta C_{\text{сеп}} = \frac{C_0 - C_e}{2.3 \lg \frac{C_0}{C_e}}$$

Час переходу газу із рідини в повітря (год) можна виразити через закон Бора [6]:

$$T = \frac{W(\lg C_0 - \lg C_e)}{\alpha k \lg e},$$

де W – об'єм води, м³.

Швидкість переходу газу із води в повітря [12]:

$$R = k\alpha(C_0 - C_e)$$

На рис.5 та в табл.3 показано дані, отримані в напівпромислових дослідженнях та розраховані за наведеними виразами.

Коефіцієнт десорбції визначатимемо за графіком (рис.5) його залежності від температури [11].

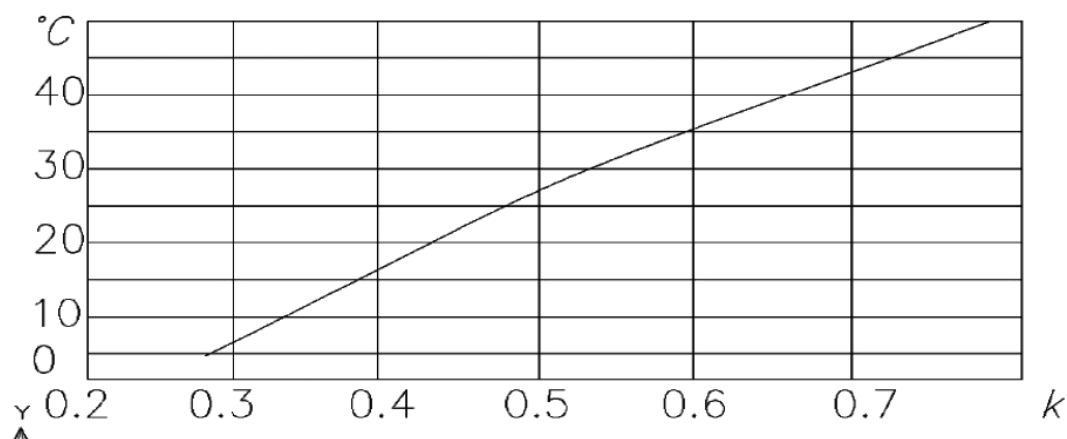


Рис.5. Графік залежності коефіцієнту десорбції від температури

Таблиця 3

Результати розрахунків по даним досліджуваної установки

$C_0 - C_k$, мг/л	k	G , кг/год	$\Delta C_{сер}$, кг/м ³	α , м ²	R , м/с
552,00	0,55	250,06	25,00	18,18	5,52
400,00	0,57	181,20	13,56	23,45	5,35
338,00	0,57	153,11	15,07	17,83	3,44
225,00	0,57	106,20	9,93	18,75	2,41
281,00	0,55	132,63	12,78	18,86	2,92
478,00	0,57	225,62	20,30	19,50	5,31
394,00	0,58	185,97	16,70	19,20	4,39
488,00	0,57	233,75	24,79	16,54	4,60
414,00	0,57	198,31	15,38	22,62	5,34
526,00	0,55	251,95	20,89	21,93	6,34
282,00	0,58	135,08	9,04	25,75	4,21
180,00	0,57	86,22	8,13	18,61	1,91
449,00	0,57	216,42	19,84	19,13	4,90
290,00	0,57	139,78	13,03	18,82	3,11

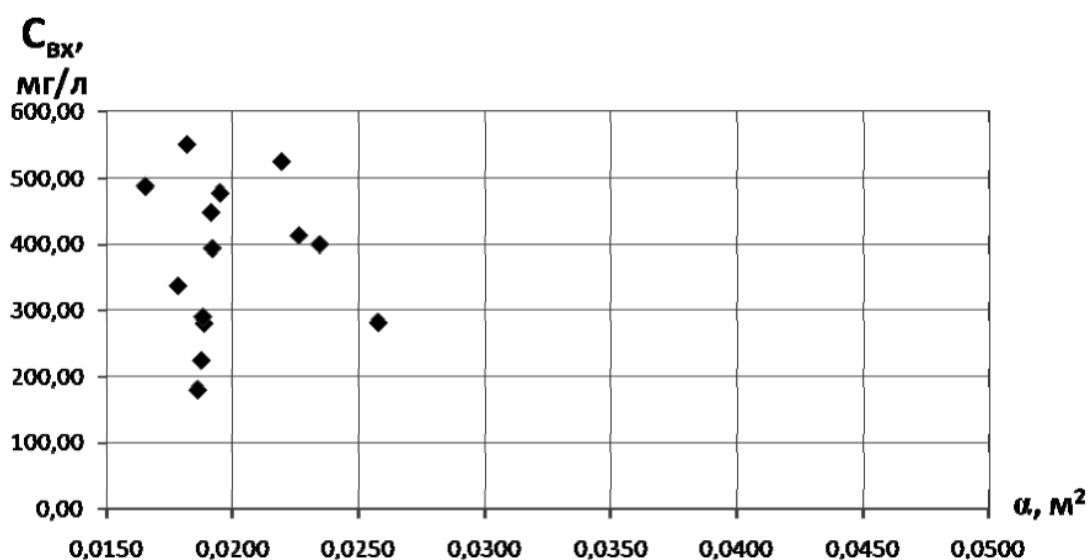


Рис.6. Площа поверхні розділу фаз від концентрації газу у воді

Проаналізувавши графік (рис.6), можна зробити висновок, що поверхня розділу фаз майже не змінна, і коливається в діапазоні від 0,017...0,025, а тому не залежить безпосередньо від концентрації газу.

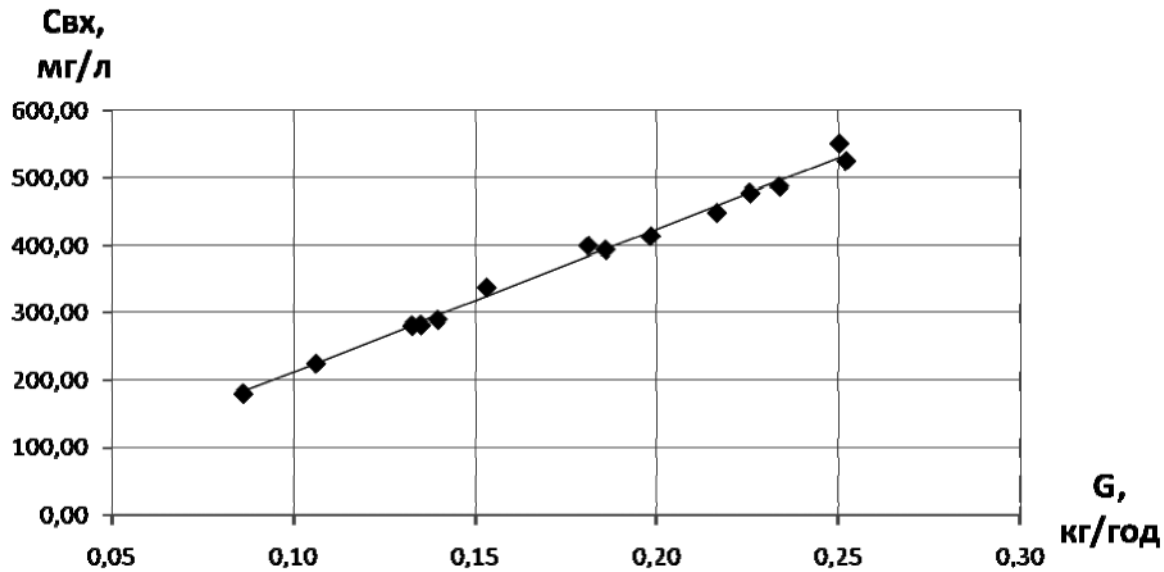


Рис. 7. Кількість видаленої вуглекислоти

Кількість видаленої вуглекислоти прямо пропорційна кількості газу у воді.

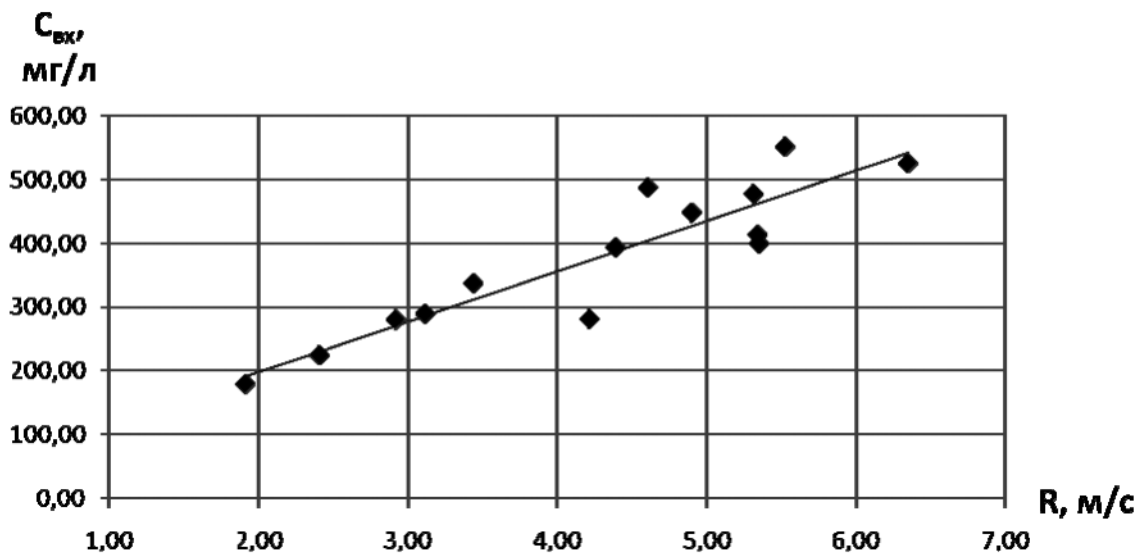


Рис.8. Швидкість переходу газу із води в повітря

З графіку видно, що швидкість переходу газу із рідини в повітря при інших постійних факторах, на пряму залежить від кількості газу в ній. Неточність ліній на графіках обумовлена нерівномірністю зміни коефіцієнта десорбції, який в свою чергу залежить від температури води, а також від різних показників концентрацій у той чи інший момент дослідження.

Для розрахунку часу переходу газу із рідини в повітря необхідно знати об'єм води (м³), через який проходить газ, що визначається за формулою [8]:

$$W = \alpha h,$$

де h – висота струменю води, від випускної труби до насадку (м).

Цим показником ми будемо варіювати при розрахунках, для того, щоб побачити закономірність зміни часу переходу від цієї висоти.

Оберемо із рис.2 п'ять різних концентрацій, з різним ефектом очистки.

Таблиця 4

Початкові та кінцеві концентрації обраних даних

	$C_{1'}$ (мг/л)	$C_{2'}$ (мг/л)	$C_{3'}$ (мг/л)	$C_{4'}$ (мг/л)	$C_{5'}$ (мг/л)
$C_{0'}$ (мг/л)	620	422	378	528	202
$C_{к'}$ (мг/л)	68	22	40	50	2

Таблиця 5

Результати розрахунків

h , м	$W_{1'}$ м ³	$W_{2'}$ м ³	$W_{3'}$ м ³	$W_{4'}$ м ³	$W_{5'}$ м ³	$T_{1'}$ с	$T_{2'}$ с	$T_{3'}$ с	$T_{4'}$ с	$T_{5'}$ с
1	0,018	0,023	0,018	0,019	0,019	4,001	5,160	3,923	4,118	3,873
0,9	0,016	0,021	0,016	0,018	0,017	3,601	4,644	3,531	3,706	3,486
0,8	0,015	0,019	0,014	0,016	0,015	3,201	4,128	3,139	3,294	3,099
0,7	0,013	0,016	0,012	0,014	0,013	2,801	3,612	2,746	2,882	2,711
0,6	0,011	0,014	0,011	0,012	0,011	2,401	3,096	2,354	2,471	2,324
0,50	0,009	0,012	0,009	0,010	0,009	2,001	2,580	1,962	2,059	1,937
0,40	0,007	0,009	0,007	0,008	0,007	1,601	2,064	1,569	1,647	1,549
0,30	0,005	0,007	0,005	0,006	0,006	1,200	1,548	1,177	1,235	1,162
0,20	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,800	1,032	0,785	0,824	0,775
0,10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,400	0,516	0,392	0,412	0,387

На основі отриманих результатів можна побудувати графіки залежностей для кожної висоти.

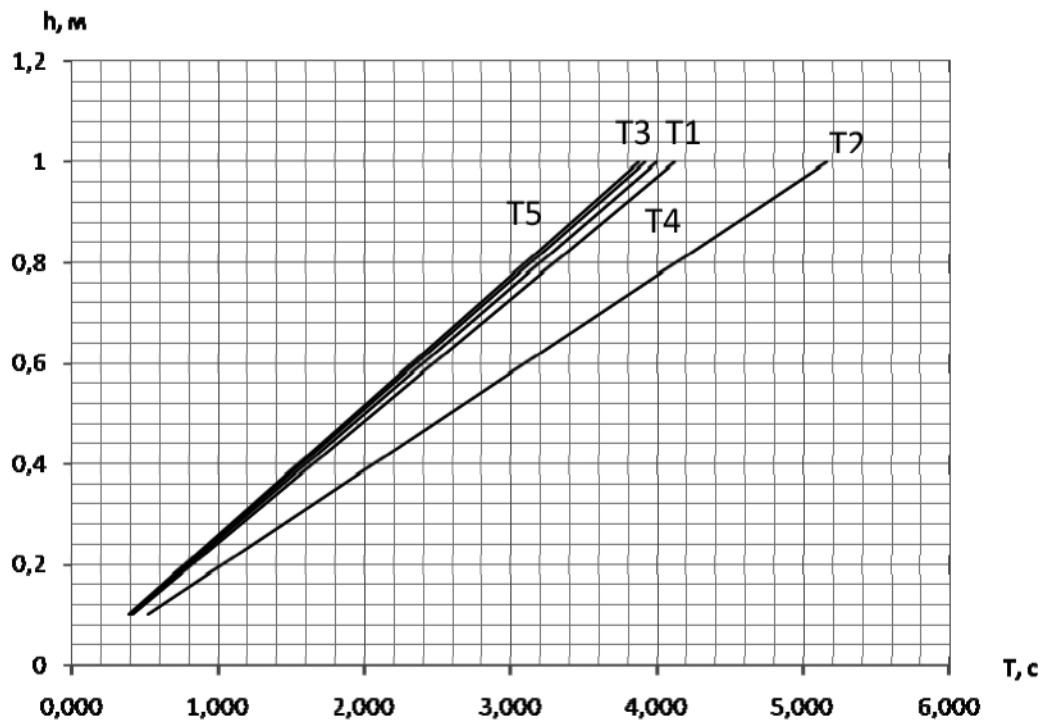


Рис.9. Графік залежності часу переходу газу із рідини в повітря від висоти.

Таким чином, при збільшенні висоти збільшується час переходу газу із рідини в повітря, і навпаки.

Висновки

Розроблена установка компактна, зручна в монтажі і подальшій експлуатації, не потребує додаткових хімічних реагентів, економічно вигідна.

Список літератури:

1. Таварткиладзе И.М. Способы и схемы очистки высококонцентрированных стоков сельских объектов. – Учебное пособие. – К.:КИСИ, 1984. – 98 с.
2. Таварткиладзе И.М. Водоотведение малых объектов: Учебное пособие. – К.:НМК ВО, 1992. – 311 с.
3. Таварткиладзе И.М. Водовідвідні системи промислових підприємств. Процеси і апарати. Навчальний посібник. – К.:КНУБА, 2002. – 320 с.
4. Сухов А.В. Преимущества мембранной дегазации. / ВодаMagazine. – Вып. №3, 2007. – С. 26-30.
5. Калюжный С.В. Анаэробная биологическая очистка сточных вод / Итоги науки и техники ВНИИТИ серия «Биотехнология». – М., 1991. – С.574.
6. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
7. Когановский А.М., Клименко А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
8. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М., Стройиздат, 1971. – 356 с.
9. Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий. – Санкт-Петербург, 2003. – 537 с.
10. А.И.Мацнев Водоотведение на промышленных предприятиях. – Львов: Вища школа, 1986. – 201 с.
11. Никольский Б.П. Справочник химика, том V. – Санкт-Петербург, Химия, 1986. – 488 с.
12. Robert H. Perry, Don W.Green Perry's Chemical engineers' handbook. – The McGraw-Hill Company, 1999,. – 2582 p.

УДК 628.357

О.М. КОЦАР, кандидат технічних наук

ТОВ «ЮНІЛОС-УКРАЇНА», м. Київ

Ю.О. МИРОНЮК, студентка

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНДИЦІОНУВАННЯ РІДКОГО ГНОЮ СВИНОКОМПЛЕКСІВ З МЕТОЮ ЙОГО УТИЛІЗАЦІЇ

Розглянута проблема попередження забруднення навколишнього природного середовища відходами, що утворюються в процесах утримання свиней. Запропонована технологія отримання продуктів, що підлягають утилізації, а саме – вод, кондиціонованих для удобрювально-зволожувальних поливів, та осаду, кондиціонованого для внесення в ґрунт з метою покращення удобрювальних та структурно-механічних властивостей ґрунтів під вирощування зерно-фуражних та кормових культур, зелених насаджень.

Ключові слова: стічні води, рідкий гній, кондиціонування, очистка, зворотні води, внутрішньоґрунтове зрошення, осад, забруднення.

Рассмотрена проблема предотвращения загрязнения окружающей среды отходами, образующимися в процессе содержания свиней. Предложена технология получения продуктов, подлежащих утилизации, а именно – вод, кондиционированных для удобрительно-увлажняющих поливов, и осадка, кондиционированного для внесения в почву с целью улучшения удобрительных и структурно-механических свойств грунтов под выращивание зерно-фуражных и кормовых культур, зеленых насаждений.

Ключевые слова: сточные воды, жидкий гной, кондиционирование, очистка, обратные воды, внутрепочвенное орошение, осадок, загрязнение.

Here was explored the problem of environment pollution prevention by wastes which appear in the processes of maintenance of pigs. Offered technology of receipt of products, that will be recycle, namely – conditioned water for spray-dampings watering, and conditioned sediment, for bringing in soil for the improvement of fertilizing and structurally mechanical properties of soils under growing of green crops, green planting.

Keywords: sewer water, liquid pus, conditioning, purification, return water, inwardly the ground irrigation, sediment, pollution.

В теперішній час в усьому світі все актуальніше постає проблема вдосконалення технологічних процесів і апаратів кондиціонування рідких відходів від промислових та комунальних підприємств з метою підвищення рівня техногенної безпеки цих об'єктів.

Особливо гострою ця проблема стоїть при видаленні, обробці, кондиціонуванні виробничих стічних вод від тваринницьких комплексів по репродукції та відгодівлі свиней.

Рідкий гній – продукт життєдіяльності поголів'я свиней утворюється при їх безпідстилковому утриманні на щільній підлозі в переважаючій більшості тваринницьких комплексів по репродукції та вирощуванню свиней. Він є значним за об'ємом супутнім продуктом тваринництва, а потенційно – універсальним біодобривом. Його ефективно та екологічно безпечно використання – необхідна передумова господарювання з використанням інтенсивних методів тваринництва та землеробства.

Розвитку свинарства в Україні сприяє той фактор, що існуючі свиноферми і свинокомплекси на теперішній час забезпечують Україну м'ясом лише на 50%, а близько 240 тисяч тон м'яса щорічно ввозиться в Україну, що становить в розрахунку на 1 жителя близько 5,3 кг/рік [1].

В переважній більшості випадків в Україні будуються або реконструюються великі свинокомплекси потужністю – від 10000 до 100 000 голів/рік.

Утримання великої кількості свиней на тваринницьких комплексах пов'язане з ризиком внесення в ґрунт під сільськогосподарські культури необробленого рідкого гною, що може призвести до серйозних екологічних проблем: забруднення підземних і поверхневих вод, погіршення структурно-механічних властивостей ґрунту та його ерозії, утворення зон засолення ґрунту, забруднення ґрунтів насінням бур'янів, зниження врожайності сільськогосподарських культур, підвищення концентрації нітратів у продуктах землеробства та погіршення їх якості за іншими показниками.

Для успішного ведення конкурентоспроможного екологічно безпечного тваринницького господарства дуже важливо організувати процес утилізації відходів у відповідності з діючими в Україні відомчими нормами [2,3].

При проектуванні та будівництві нових тваринницьких комплексів нормативними документами рекомендовано впровадження різноманітних очисних споруд – механічної, фізико-хімічної, аеробної та анаеробної біологічної очистки рідкого гною.

На нашу думку, принципово важливо розглядати проблему попередження забруднення навколишнього природного середовища відходами, що утворюються в процесах утримання свиней, не як очистку стічних вод для скиду в водоймище (це надзвичайно дорогий процес), а як технологію отримання продуктів, що підлягають утилізації, а саме – вод, кондиціонованих для удобрювально-зволожувальних поливів, та осаду, кондиціонованого для внесення в ґрунт для покращення удобрювальних та структурно-механічних властивостей ґрунтів під вирощування зерно-фуражних та кормових культур, зелених насаджень.

Такий підхід до проблеми екологічно безпечного функціонування свинокомплексу дозволить одночасно і вирішувати екологічні проблеми, і створити додаткову статтю прибутку для господарства завдяки виробництву цінних продуктів переробки стічних вод – підготовлених згідно нормативів внесення в ґрунт для зволожувально-удобрювальних поливів зворотних вод, та компосту, що вноситься в ґрунт як органо-мінеральне добриво.

Для розробки технології отримання з рідкого гною кінцевих продуктів, які можуть бути утилізовані для покращення удобрювальних та структурно-механічних властивостей ґрунтів, були відібрані та проаналізовані стічні води, що утворюються на працюючих свинокомплексах (таблиця 1).

Для отримання із стічних вод продуктів, що підлягають використанню для покращення удобрювальних властивостей ґрунтів, запропонована технологія представлена на рис.1.

Стічні води свиногомплексу розподіляються на три потоки – К1 господарсько-побутові стічні води; К2 дощові стічні води; К3 виробничі стічні води, оскільки вони суттєво відрізняються по якості та кількості і кожен потік підлягає обробці по вибраній згідно їх якості технології на окремих установках. 1-й потік (господарсько-побутові стічні води) підлягає очищенню та знезараженню з використанням підземних локальних очисних споруд блочно-модульного типу, які передбачають повну аеробну біологічну очистку в аеротенку, розподіл фаз у відстійнику, знезараження, доочистку на закритому утепленому біоплато перед відведенням на повторне використання для технічних потреб (внутрішньоґрунтове зрошення, приготування розчинів реагентів для кондиціонування рідкого гною тощо).

Ці споруди забезпечують якість зворотних вод відповідно до нормативів скиду у водоймище безпосередньо або через потік ґрунтових вод та повторне використання для внутрішньоґрунтового зрошення зелених багаторічних насаджень безпосередньо на території господарства.

2-й потік (забруднені дощові води з території свиногомплексу) передбачає відведення всіх малих, середніх та першої забрудненої порції дощів розрахункової інтенсивності через розподільчий колодязь на локальні очисні споруди в складі відстійника-накопичувача з біосорбційним плаваючим боном та надходження очищених зворотних вод до приймальної камери з зануреним насосом, який забезпечує їх повторне використання на технічні потреби та зрошення.

3-й потік (рідкий гній, виробничі стічні води) – підлягає кондиціонуванню з метою отримання рідких та твердих продуктів, які можуть бути використані для покращення удобрювальних та структурно-механічних властивостей ґрунтів.

Таблиця 1

Усереднений якісний склад стічних вод свиногомплексів

Найменування показників	Значення в забруднених стічних водах		
	господарчо-побутових	дощових	виробничих (рідкий гній)
рН, од.	7,5...8,5	7,5...8,5	6,3...8,9
завислі речовини, мг/л	244,0	500,0	35000
ХСК, мг O ₂ /л	340,0	200,0	48000
БСК ₅ , мг O ₂ /л	170,0	60,0	27200
залізо заг, мг/л	2,6	1,0	21,0
сульфати, мг/л	500,0	120,0	540
хлориди, мг/л	350,0	160,0	450
СПАР, мг/л	1,8	0,5	1,0
амоній сольовий, мг/л	20,5	6,0	2120
нітрати, мг/л	відс.	1,5	6,5
нітрити, мг/л	відс.	0,1	0,5
ортофосфати, мг/л	4,5	0,6	205,0
жири, мг/л	1,2	0,4	1,0
сухий залишок, мг/л	1000,0	800,0	19000
колі-індекс	1x10 ⁶	не визн.	1x10 ⁹
нафтопродукти	1,2	30,0	3,0
феноли	не визн.	не визн.	14,0
цинк	не визн.	не визн.	4,0
життєздатні яйця гельмінтів	1	не визн.	20

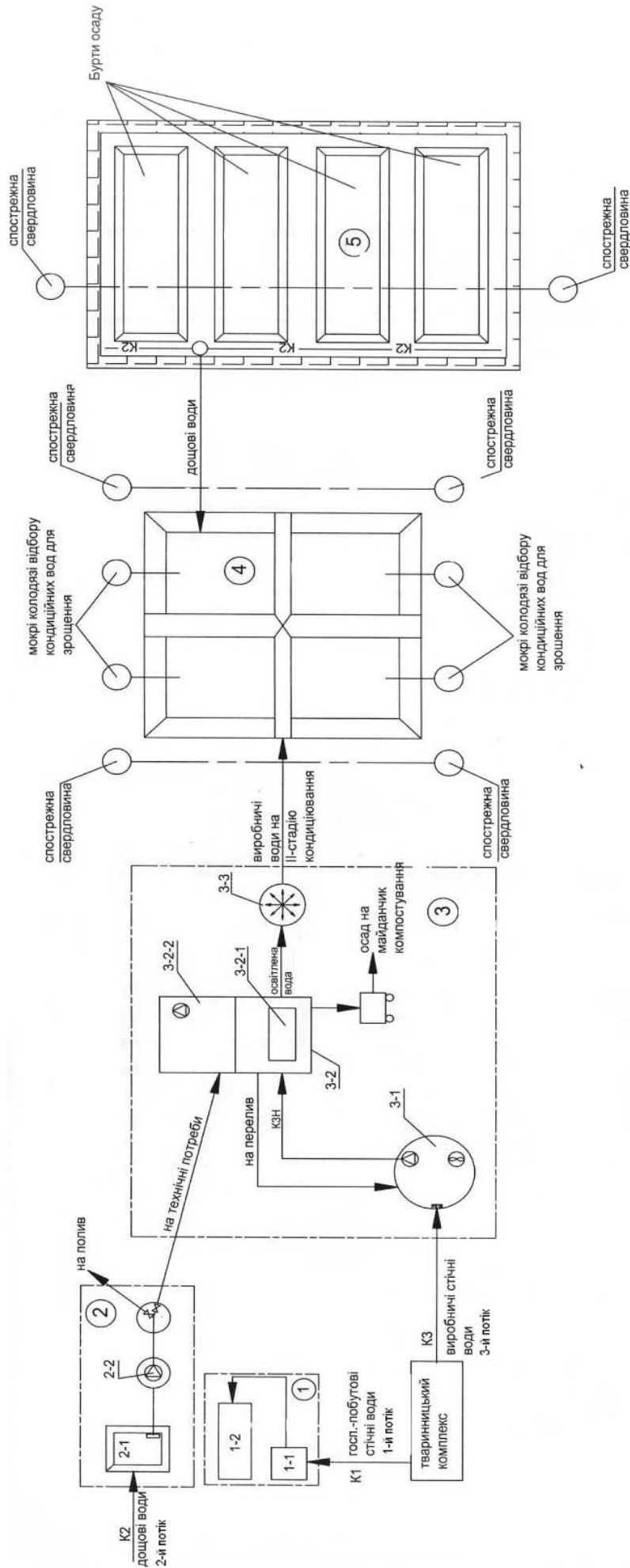


Рис. 1. Технологічна схема кондиціювання стічних вод свиногомплексу з метою отримання підлягаючих утилізації продуктів з використанням локальних очисних споруд (ЛОС).

1. ЛОС господарсько-побутових стічних вод: 1-1 – блок біологічної очистки, 1-2 – система внутрішньогрунтового зрошення.
2. ЛОС дощових вод: 2-1 – відстійник з біосорбційним боном, 2-2 – насосна станція подачі освітлених вод на повторне використання.
3. Станція кондиціювання виробничих стічних вод (рідкого гною): 3-1 – приймальна камера залпового скиду, 3-2 – блок розподілу фаз: 3-2-1 – сепаратор гною, 3-2-2 – блок дозування реагенту, 3-3 – біореактор кондиціювання рідкого гною.
4. Біостанція кондиціювання виробничих вод. 5. Майданчики компостування механічно зневодненого осаду.

Виробничі стічні води надходять до приймальної камери, обладнаної решіткою, електроміксером та зануреним насосом подачі рідкого гною на споруди фізико-хімічної очистки.

Для забезпечення дезодорації та детоксикації виробничих стічних вод свиногокомплексу, що містять феноли, сірководень, сечовину, солі амонію, аміак, фосфати та ін. пропонується їх обробляти коагулянтном під контролем рН.

Коагулянт вноситься для утворення гідроксиду йону металу та сорбції на його поверхні фенолів, утворення нерозчинного осаду фосфатів та переведенню аміаку в солі амонія при зниженні рН до 6,5...7,0.

Після завершення процесу коагуляції стічні води підлягають розподілу фаз на шнековому сепараторі. Осад 80% вологості вивантажується на автотранспорт та вивозиться на майданчики компостування, а освітлені стічні води самопливом надходять в біореактор, обладнаний механічним аератором, який працює періодично, з метою забезпечення процесів нітрифікації-денітрифікації.

Для культивування в біореакторі біомаси мікроорганізмів (нітрифікаторів та денітрифікаторів) передбачене внесення в освітлені стічні води біопрепарату БІОМІКС для стимулювання процесів біологічної очистки зворотних вод.

Завершення процесів кондиціонування виробничих стічних вод свиногокомплексів, призначених для зрошення відбувається шляхом їх доочистки в біоставках.

Механічно зневоднений осад видаляється на майданчик для компостування осаду в бурти.

Запропонована технологія дозволяє в перспективі доповнити її блоками отримання біогазу перед використанням води для удобрювальних поливів та осаду після утилізації біогазу для удобрювання ґрунтів.

Характеристика кондиціонованих виробничих вод (після біоставків) та вимоги при використанні зворотних вод для удобрювально-зволожувальних поливів, відведенні зворотних вод до водойм наведені в таблиці 2

Після компостування в осаді був визначений склад показників, що характеризують його удобрювальні властивості: в 1 т компосту загального азоту становила 43 кг, загального фосфору 20 кг та калію – 24 кг. Компост вносить в ґрунт близько 320 кг органічної речовини.

Таблиця 2

Характеристика кондиціонованих зворотних вод та нормативи для зрошення

Показник	Фактичні значення в виробничих водах		Нормативи для зрошення
	приймальна камера ЛОС	доочищена вода після біоставку	
сухий залишок, (фільтрат), мг/л	8500	2025	2000
ХСК, мгО ₂ /л	47000	5000	не норм.
БСК ₅ , мгО ₂ /л	19200	2800	не норм.
азот загальний, мг/л (амонійний), мг/л	2700 (900)	540 (112)	600 (120)
фосфор загальний, мг/л	650	49,0	не норм.
рН, од	9,0	8,5	6,5-8,5
завислі речовини, мг/л	38000	3100	не норм.
яйця геогельмінтів, шт/л	20	відс.	ВІДС.
сульфати, мг/л	580	490	500
хлориди, мг/л	380	360	350
феноли, мг/л	16,0	сліди	0,001
сірководень, мг/л	3,0	в	не норм
цинк, мг/л	3,5	відс.	2,0

На фото 1-5 наведені ілюстрації процесу отримання рідких та твердих добрив з рідкого гною сви-
нокомплексу.

	<p><i>Фото 1.</i> Додавання реагентів в приймальну камеру залпового скиду виробничих стічних вод (рідкого гною) попереджує виділення неприємних запахів.</p>
	<p><i>Фото 2</i> Будівля для розподілу сепаратором рідкого гною, обробленого реагентами, на фракції. Рідка фракція передається на обробку в біореактор, а механічно зневоднений осад транспортують на компостувальний майданчик.</p>
	<p><i>Фото 3.</i> Біореактор для господарства із відгодівлі 11900 свиней/рік – бетонна ємність висотою 5м та 9м у діаметрі. За 7-10 днів рідка фракція перетвориться на біологічно очищені стічні води без неприємного запаху, придатні для доочищення в біоставках, Поряд – накопичувач біологічно очищених стічних вод для вивезення в біоставки.</p>
	<p><i>Фото 4.</i> Оброблена рідка фракція – цінне біологічне добриво. В біваку – лагуні вона доочищується та чекає оптимального часу для внесення в ґрунт</p>
	<p><i>Фото 5.</i> Суху фракцію на компостувальному майданчику укривають ґрунтом або плівкою. Остання прискорює процеси перетворення сухої фракції гною на тверде добриво.</p>

Список літератури

1. Захарченко.А. Современные технологии содержания и откорма свиней / Материалы 3 меж-

дународної конференції «Свиноводство». – Донецьк, 2011. – С.44-46.

2. ВНТП–АПК-02.05. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми) / Мінагрополітики України. – К., 2005. – 98 с.

3. ВНТП–АПК-09.06. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною / Мінагрополітики України. – К., 2006. – 99 с.

4. Olena Kotsar. Ecofriendly power Efficient Stockbreeding Complex Sewage Conditioning Technology for Production of liquid and Solid Fertilizers. EURO-ECO-2010. THE FIFTH INTERNATIONAL SYMPOZIUM. / Environmental, Engineering and Legal aspects for Sustainable Living. – Hannover, 2-3 December 2010. – С 34-35.

УДК 628.394

О.С. ПЕТРЕНКО, кандидат технічних наук
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ СКИДУ СТИЧНИХ ВОД КОМПЛЕКСОМ ОЧИСНИХ ТА ВОДОВИПУСКНИХ СПОРУД

Показано вплив різних процесів на умови скиду стічних вод в річки та водойми. Приведені залежності для визначення необхідних параметрів. Представлена схема розрахунків і прийняття рішень для випадків створення нового або удосконалення існуючого комплексу очисних і водовипускних споруд.

Ключові слова: скид стічних вод, очисні споруди, водовипускні споруди, ефект очищення, розбавлення.

Показано влияние разных процессов на условия сброса сточных вод в реки и водоемы. Приведены зависимости для определения необходимых параметров. Представлена схема расчетов и принятия решений для случаев создания нового или усовершенствования существующего комплекса очистных и водовыпускных сооружений.

Ключевые слова: сброс сточных вод, очистные сооружения, водовыпускные сооружения, эффект очистки, разбавление.

Influence of different processes is related to the conditions of fault waste water in rivers and lakes. Dependences are resulted for determination of necessary parameters. The chart of analyses and making decision is presented for the cases of creation of new or improvement of existent complex of treatment works and water-discharge buildings.

Key words: fault waste water, treatment works, water- discharge buildings, dilution, effect of purification.

Для охорони водних ресурсів від надмірного забруднення стічними водами встановлені умови скиду цих вод в поверхневі водні об'єкти (ВО) [1,2,3]. Ними називають забезпечення таких значень *i*-их показників якості на водовипускних спорудах (ВВС), які дозволяють виконати нормативні вимоги:

- а) на вказаних спорудах для завислих речовин, БСК, ХСК;
- б) в заздалегідь призначених контрольних створах (КС) на водотоках або пунктах на водоймах для всіх показників (рис. 1).

Якщо величини *i*-их показників якості ВВС залежать тільки від ефективності очищення за цима показниками на очисних спорудах (ОС) $E^{(i)}$, то значення їх в КС $\square_{\square}^{(i)}$ формуються під впливом трьох процесів:

- очищення стічних вод на ОС;
- розбавлення їх у ВО на ділянці від випуска до КС (характеризуються *кратністю розбавлення n*, яка показує в скільки разів води ВО розбавлять стічні води);
- самоочищення суміші вод на ділянці розбавлення під впливом природних факторів.

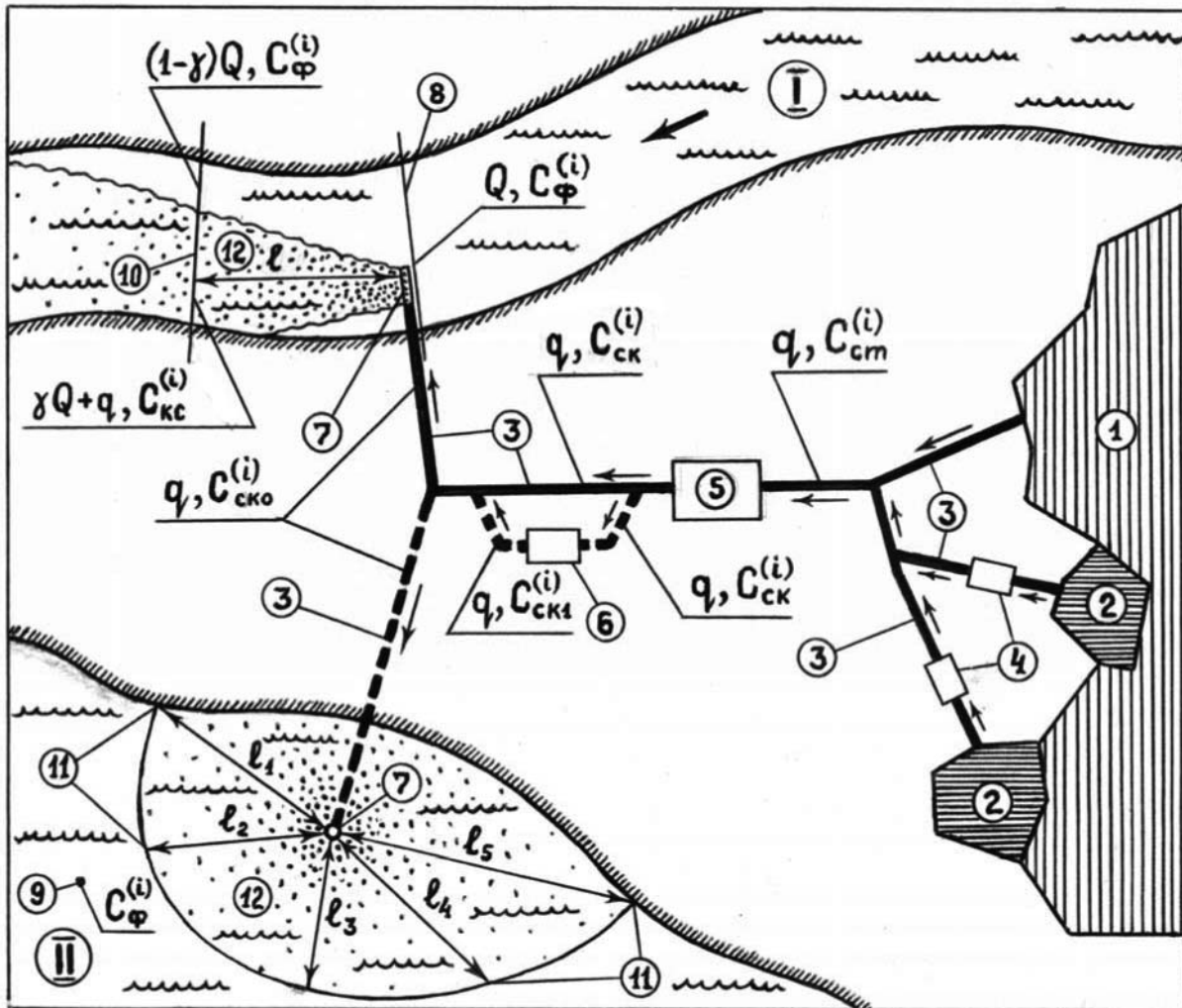


Рис.1. Схема розташування об'єктів і споруд водовідведення, зміни витрат та показників якості стічних і природних вод: I – водоток (річка); II – водойма;

- 1 – населений пункт; 2 – промислові підприємства; 3 – напірні і самопливні каналізаційні колектори або канали; 4,5,6 – каналізаційні очисні споруди, відповідно локальні (ЛКОС), міські (МКОС), доочищення (СДСВ); 7 – водовипускні споруди (ВВС); 8,9 – відповідно фоновий створ або пункт; 10,11 – відповідно контрольний створ або контрольні пункти (КС); 12 – ділянка розбавлення

В зв'язку з тим, що відстань від місця випуску до КС не повинна перевищувати 500 м [2], процеси самоочищення, особливо в зимову пору року, будуть короточасними та маловпливовими і далі нами не розглядаються.

Процеси очищення та розбавлення в значній мірі забезпечуються на комплексі ОС-ВВС і лише частково на розбавлення впливають природні фактори (в основному гідрологічні умови).

Збільшення n (зростання вартості ВВС) дає можливість зменшити $E^{(i)}$ на ОС (зменшити вартість очистки) і навпаки.

Слід мати на увазі, що вартість ОС майже завжди більша вартості ВВС. Це розходження може сягати десятків і навіть сотень разів, якщо рух стічних вод до випуску відбувається за рахунок перепада рівнів на ОС та у ВО. При подачі цих вод примусово (за допомогою насосної станції) вартість ВВС, як правило, також менша на кілька десятків процентів або в кілька разів.

Внаслідок цього при проектуванні комплексу ОС-ВВС слід прагнути *максимально використати здатність ВО до розбавлення стічних вод*.

При невисоких вимогах до якості очистки та скиді стічних вод в великі ВО або при скиді умовно чистих вод в будь-які ВО нема потреби досягати значних величин кратності розбавлення (наприклад, запроектувати маловартісні ВВС берегового типу).

У будь-якому випадку забезпечення умов скиду зводиться до задачі *оптимізації вибору споруд* комплексу ОС-ВВС з урахуванням техніко-економічних факторів.

Розглядаємо далі чисельні характеристики і вирази умов скиду стічних вод та методи і залежності, що дозволяють їх визначити.

Значення i -тих показників якості стічних вод в місці випуску їх у ВО ($C_{\text{СКО}}^{(i)}$) не повинні виходити за границі допустимих значень $C_{\text{ДС}}^{(i)}$.

Після каналізаційних очисних споруд повної біологічної очистки (МКОС на рис. 1) встановлені конкретні обмеження тільки для таких показників [2]:

$$\begin{aligned}
 & \text{— біохімічне споживання кисню} \\
 & \qquad C_{\text{СКО}}^{\text{БСК}_5} \leq C_{\text{ДС}}^{\text{БСК}_5} = 15 \text{ мг О}_2/\text{л} \\
 \text{або} & \qquad C_{\text{СКО}}^{\text{БСК}_{\text{повн}}} \leq C_{\text{ДС}}^{\text{БСК}_{\text{повн}}} = 22 \text{ мг О}_2/\text{л} \\
 & \text{— хімічне споживання кисню} \\
 & \qquad C_{\text{СКО}}^{\text{ХСК}} \leq C_{\text{ДС}}^{\text{ХСК}} = 80 \text{ мг О}_2/\text{л} \\
 & \text{— концентрація завислих речовин} \\
 & \qquad C_{\text{СКО}}^{\text{з.р.}} \leq C_{\text{ДС}}^{\text{з.р.}} = 15 \text{ мг/л}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Значення всіх нормованих показників якості в скидаємих стічних водах $C_{\text{СКО}}^{(i)}$ (крім концентрації завислих речовин) повинні бути такими, щоб в заздалегідь призначених КС задовольняти вимогам [1,3,4]:

$$C_{\text{ГДН}}^{(i)} \leq C_{\text{КС}}^{(i)} \leq C_{\text{ГДВ}}^{(i)}; \tag{2}$$

$$\frac{C_{\text{КС}}^{(1)}}{C_{\text{ГДВ}}^{(1)}} + \frac{C_{\text{КС}}^{(2)}}{C_{\text{ГДВ}}^{(2)}} + \dots + \frac{C_{\text{КС}}^{(j)}}{C_{\text{ГДВ}}^{(j)}} \leq 1, \tag{3}$$

де $C_{\text{КС}}^{(i)}$ – значення i -го показника якості в КС;

$C_{\text{ГДН}}^{(i)}, C_{\text{ГДВ}}^{(i)}$ – відповідно нижні та верхні граничнодопустимі значення (ГДЗ) або концентрації (ГДК) (розрахунки за нижніми значеннями майже не зустрічаються, тому далі будемо розглядати тільки $C_{\text{ГДВ}}^{(i)}$);

$C_{\text{КС}}^{(j)}, C_{\text{ГДВ}}^{(j)}$ – відповідно концентрація та верхня ГДК j -ої речовини з сукупності речовин однакової лімітуючої ознаки шкідливості (ЛОШ).

Для температури води T у ВО рибогосподарського призначення додатково, крім вимоги (2), а також для завислих речовин в КС повинні виконуватись відповідно такі вимоги [3]:

$$\Delta C_{\text{КС}}^T = C_{\text{КС}}^T - C_{\text{ф}}^T \leq \Delta T; \tag{4}$$

$$\Delta C_{\text{КС}}^{\text{з.р.}} = C_{\text{КС}}^{\text{з.р.}} - C_{\text{ф}}^{\text{з.р.}} \leq \Delta p, \tag{5}$$

де $C_{\text{КС}}^T (C_{\text{КС}}^{\text{з.р.}})$, $C_{\text{ф}}^T (C_{\text{ф}}^{\text{з.р.}})$ – відповідно значення температури (завислих речовин) в контрольному та фоновому створі (пункті);

ΔT , Δp – відповідно граничнодопустимий приріст значень температури та концентрацій завислих речовин в КС.

Вирази (1), (2), (3), (4), (5) є умовами скиду стічних вод в поверхневі ВО.

ГДЗ і ГДК, ΔT і Δp для ВО заданого виду водокористування є величини постійні, фонові значення або концентрації показників, як правило, відомі, тому виконання нерівностей (2), (3), (4), (5) залежить в першу чергу від значень показників якості суміші вод в КС. На короткій

ділянці розбавлення ці показники в першому наближенні можна вважати *консервативними*, тобто такими, що майже не зазнають змін під впливом природних факторів, крім самого процесу розбавлення. Тоді їх значення в КС слід розраховувати за формулою [1,3,4]:

$$C_{\text{КС}}^{(i)} = \frac{C_{\text{СКО}}^{(i)} - C_{\text{Ф}}^{(i)}}{n} + C_{\text{Ф}}^{(i)}, \quad (6)$$

де $C_{\text{Ф}}^{(i)}$ – фонові значення показників якості.

Якщо скид стічних вод у ВО відбувається після МКОС, то $C_{\text{СКО}}^{(i)} = C_{\text{СК}}^{(i)}$, якщо після споруд доочистки (СДСВ), то $C_{\text{СКО}}^{(i)} = C_{\text{СК1}}^{(i)}$ (рис. 1).

Кратність розбавлення визначається за виразом:

$$n = \frac{\gamma Q}{q} + 1, \quad (7)$$

де q – витрати стічних вод;

Q – витрати води у ВО до скиду стічних вод;

γ – коефіцієнт змішування – величина в долях одиниці, що показує, яка частка води річки змішається зі стічними водами до КС (для водойм приймається $\gamma = 1$).

На підставі результатів проведених досліджень пропонуємо для *рівнинних річок*, залежно від їх ширини $B_{\text{ВО}}$, *реально досяжні* максимальні значення $\gamma_{\text{м}}$ в першому наближенні приймати за графіком на рис. 2. Ці значення встановленні для ділянки розбавлення довжиною $l = 500$ м. Якщо $l < 500$ м, то пропорційно слід зменшити і $\gamma_{\text{м}}$. Середня ширина річки знаходиться із залежності:

$$B_{\text{ВО}} = \frac{Q}{v \cdot H}, \quad (8)$$

де v і H – відповідно середні швидкість течії та глибина води у ВО на ділянці розбавлення.

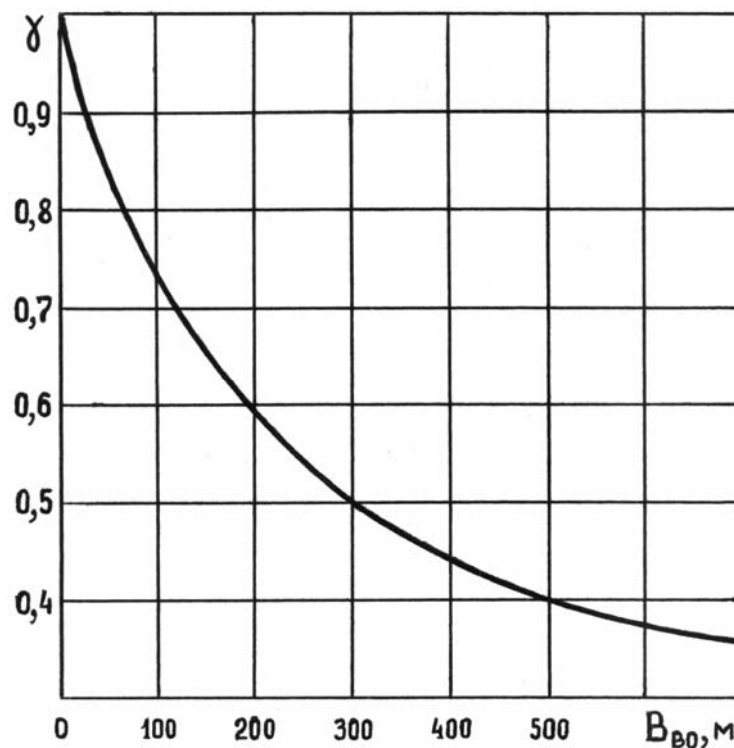


Рис.2. Графік реально досяжних приблизних значень коефіцієнта змішування залежно від ширини річки для 500-метрової ділянки розбавлення

Витрати Q приймаються:

- в річках, як середні на протязі найбільш маловодного місяця 95% забезпеченості;
- в нижньому б'єфі зарегульованих річок, як мінімальний гарантований пропуск гідровузла.

Більш точні методи розрахунку γ і n для заданих конструкцій водовипускних споруд та конкретних природних умов представлені в роботах [1,4,5].

Ефект очищення в процентах для i -ого показника якості з *верхнім* граничнодопустимим значенням розраховується за формулою:

$$E^{(i)} = \frac{C_{\text{ст}}^{(i)} - C_{\text{СКО}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}} \cdot 100, \quad (9)$$

де $C_{\text{ст}}^{(i)}$ – значення показника перед першими загальними очисними спорудами (на рис. 1 це МКОС).

Величину $C_{\text{СКО}}^{(i)}$ можна визначити за однією з залежностей, які знаходяться відповідно з формул (6) і (9):

$$C_{\text{СКО}}^{(i)} = n \left(C_{\text{КС}}^{(i)} - C_{\text{ф}}^{(i)} \right) + C_{\text{ф}}^{(i)}; \quad (10)$$

$$C_{\text{СКО}}^{(i)} = C_{\text{ст}}^{(i)} \left(1 - \frac{E^{(i)}}{100} \right). \quad (11)$$

Прирівняємо праві частини цих формул і після нескладних перетворень отримаємо *новий* вираз для знаходження ефекта очищення:

$$E^{(i)} = 100 \left[1 - n \left(\frac{C_{\text{КС}}^{(i)} - C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}} \right) - \frac{C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}} \right]. \quad (12)$$

Якщо відома величина $E^{(i)}$ та значення $C_{\text{ф}}^{(i)}$, $C_{\text{ст}}^{(i)}$, $C_{\text{КС}}^{(i)}$, то з формули (12) можна знайти відповідну їм необхідну кратність розбавлення для кожного показника:

$$n^{(i)} = \frac{C_{\text{ст}}^{(i)} \left(1 - \frac{E^{(i)}}{100} \right) - C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{КС}}^{(i)} - C_{\text{ф}}^{(i)}}. \quad (13)$$

З формули (12) виділяємо значення i -ого показника якості в КС:

$$C_{\text{КС}}^{(i)} = \frac{1}{n} \left[C_{\text{ст}}^{(i)} \left(1 - \frac{E^{(i)}}{100} \right) - C_{\text{ф}}^{(i)} \right] + C_{\text{ф}}^{(i)}. \quad (14)$$

Параметри, які входять до виразів (12), (13), (14) мають такі області змін: $0 \leq E \leq 100$, $n \geq 1$, $C_{\text{ст}} > 0$, $C_{\text{КС}} > C_{\text{ф}} \geq 0$.

Перед розрахунками за вище наведеними формулами доцільно розглянути умову:

$$n \left(\frac{C_{\text{КС}}^{(i)} - C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}} \right) = n \bar{C}^{(i)} \gg \frac{C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}}, \quad (15)$$

де $\bar{C}^{(i)} = \frac{C_{\text{КС}}^{(i)} - C_{\text{ф}}^{(i)}}{C_{\text{ст}}^{(i)}}$ – надлишкове відносне значення i -ого показника якості

в КС.

Якщо нерівність виконується, то вплив співвідношення $C_{\phi}^{(i)} / C_{\text{ст}}^{(i)}$ на результати розрахунків буде незначним і ним можна знехтувати. Тоді залежність (12) набуде вигляду, зручного для номограмування:

$$1 - \frac{E^{(i)}}{100} = n \bar{C}^{(i)}. \quad (16)$$

На рис. 3 зображена номограма, яка дозволяє наближено визначити значення якої-небудь з величин $E^{(i)}$, n , $\bar{C}^{(i)}$ при відомих двох інших. Знайшовши значення $\bar{C}^{(i)}$ з виразу (15) можна отримати формулу для розрахунку значень i -ого показник в КС:

$$C_{\text{КС}}^{(i)} = C_{\text{ст}}^{(i)} \cdot \bar{C}_{\text{КС}}^{(i)} + C_{\phi}^{(i)}. \quad (17)$$

Визначені за номограмою значення величин $E^{(i)}$ і n будуть дещо завищеними, а величини $C_{\text{КС}}^{(i)}$ – меншими, ніж ті, які розраховуються відповідно за формулами (12), (13), (14).

На номограмі пунктирними лініями показано кілька прикладів визначення параметрів.

Приклад А.

Дано: $n = 8$; для заліза в мг/л: $C_{\phi}^{\text{Fe}} = 0,01$; $C_{\text{ст}}^{\text{Fe}} = 0,7$; $C_{\text{КС}}^{\text{Fe}} = 0,3$.

Знайти E^{Fe} .

Рішення: $\bar{C}^{\text{Fe}} = \frac{0,3 - 0,01}{0,7} = 0,414$; $n \bar{C}^{\text{Fe}} = 3,31 \square C_{\phi}^{\text{Fe}} / C_{\text{ст}}^{\text{Fe}} = 0,014$. За номограмою

$E^{\text{Fe}} = 0$ (очищення від заліза не потрібне – необхідна концентрація в КС буде забезпечена внаслідок розбавлення)

Приклад Б.

Вихідні дані ті самі, але при $C_{\text{КС}}^{\text{Fe}} = 0,05$.

Знайти E^{Fe} .

Рішення: $\bar{C}^{\text{Fe}} = \frac{0,05 - 0,01}{0,7} = 0,057$; $n \bar{C}^{\text{Fe}} = 0,46 \square C_{\phi}^{\text{Fe}} / C_{\text{ст}}^{\text{Fe}} = 0,014$. За номограмою

$E^{\text{Fe}} = 56\%$.

Приклад В.

Дано: $n = 3$; для нафтопродуктів в мг/л: $C_{\phi}^{\text{наф}} = 0$; $C_{\text{ст}}^{\text{наф}} = 2,5$; $E^{\text{наф}} = 88\%$.

Знайти $C_{\text{КС}}^{\text{наф}}$.

Рішення. За номограмою $\bar{C}^{\text{наф}} = 0,04$. Перевіряємо доцільність користування номограмою: $n \bar{C}^{\text{наф}} = 0,12 \square C_{\phi}^{\text{наф}} / C_{\text{ст}}^{\text{наф}} = 0$. За формулою (17) $C_{\text{КС}}^{\text{наф}} = 2,5 \cdot 0,04 + 0 = 0,1$ мг/л.

Приклад Г.

Дано: для фенола $E^{\text{фен}} = 95\%$; в мг/л: $C_{\phi}^{\text{фен}} = 0,0005$; $C_{\text{ст}}^{\text{фен}} = 0,12$; $C_{\text{КС}}^{\text{фен}} = 0,001$.

Знайти $n^{\text{фен}}$.

Рішення: $\bar{C}^{\text{фен}} = \frac{0,001 - 0,0005}{0,12} = 0,0042$. За номограмою $n^{\text{фен}} = 12$.

Перевірка: $n\bar{C}^{\text{фен}} = 0,05 \square C_{\text{ф}}^{\text{фен}} / C_{\text{ст}}^{\text{фен}} = 0,0042$ показує доцільність користування номограмою.

Значення кожної з величин n , $E^{(i)}$, $C_{\text{КС}}^{(i)}$ залежать від безкінечної множини пар значень двох інших, що дозволяє підібрати з техніко-економічної точки зору оптимальну пару та комплекс ОС-ВВС для забезпечення умов скиду.

Послідовність розрахунків та прийняття рішень при забезпеченні виконання умов скиду наводиться нижче (рис. 4).

1. *Вихідні дані:* $C_{\text{ф}}^{(i)}$, $C_{\text{ГДВ}}^{(i)}$, $C_{\text{ст}}^{(i)}$, H , v , Q , q , додаткові параметри, що дозволяють розрахувати n для водойм.

2. *Для водотоків* визначення їх ширини за формулою (8), встановлення реальних максимально можливих значень $\gamma_{\text{м}}$ за графіком на рис. 2 та $n_{\text{м}}$ за виразом (7).

3. *Для водойм* розрахунок значень n за методами наведеними в роботах [1,3,4,5].
Приймаємо $n_{\text{м}} = n$.

4. Визначення значень показників якості в КС $C_{\text{КС}}^{(i)}$ на межі виконання умов скиду – вимог (2), (3), (4), (5).

5. Розрахунок за формулою (10) скидних значень БСК, ХСК, завислих речовин та перевірка виконання вимоги (1) для цих показників.

При виконанні вимоги робиться перехід до пункту 6.

Якщо вимога (1) не виконується, то за виразом (6) знаходяться *уточнені* значення БСК, ХСК, завислих речовин в КС при $C_{\text{СКО}} = C_{\text{ДС}}$ з наступним переходом до пункту 6.

6. *Перевірка* за нерівністю (15) доцільності використання номограми на рис. 3.

Далі можливі два випадки.

ВИПАДОК 1. Проектування нового комплексу ОС-ВВС.

7. Визначення величин таких параметрів:

а) *ефективності очищення* $E^{(i)}$ за формулою (10) або номограмою на рис. 3;

б) *необхідної кратності розбавлення* $n_{\text{н}} \geq n_{\text{м}}$.

8. На підставі значень $E^{(i)}$ і $n_{\text{н}}$ відповідно:

а) *розгляд варіантів методів очищення стічних вод та конструкцій ОС*, які можуть забезпечити *необхідні ефекти* $E_{\text{н}}^{(i)} \geq E^{(i)}$;

б) *вибір і розрахунок конструкцій ВВС*, яка здатна забезпечити необхідну $n_{\text{н}}$, та уточнення значень цієї величини методами її визначення для конкретних випусків [1,3,4,5].

9. Вибір *оптимального за техніко-економічними параметрами* комплексу ОС-ВВС. При цьому можливі дві ситуації:

а) після порівняння кількох альтернативних варіантів *вибраний* конкретний комплекс ОС-ВВС (*завершення процесу оптимізації і всього розрахунку у будь-якому випадку*);

б) *продовження процесу оптимізації*.

10. Оптимізацію вибору комплексу очисних та водовипускних споруд пропонується вести в нижче вказаних напрямках.

А. *Зменшення витрат скидаємих стічних вод* q , що досягається:

– впровадженням оборотних, послідовних та повторних схем водопостачання на промислових підприємствах;

– зменшенням питомих витрат води на об'єктах водопостачання;

– скиданням частини стічних вод в інші ВО або «на рельєф» (на поля фільтрації, в зрошувальні системи).

Перехід до пункту 2 або 3.

а) Б. Підібрати інші концентрації $C_{KC}^{(j)}$ для виконання вимоги (3), яким після подальших розрахунків відповідатиме новий ряд значень $E^{(j)} < \bar{E}^{(j)}$. Перехід до 6 пункту.

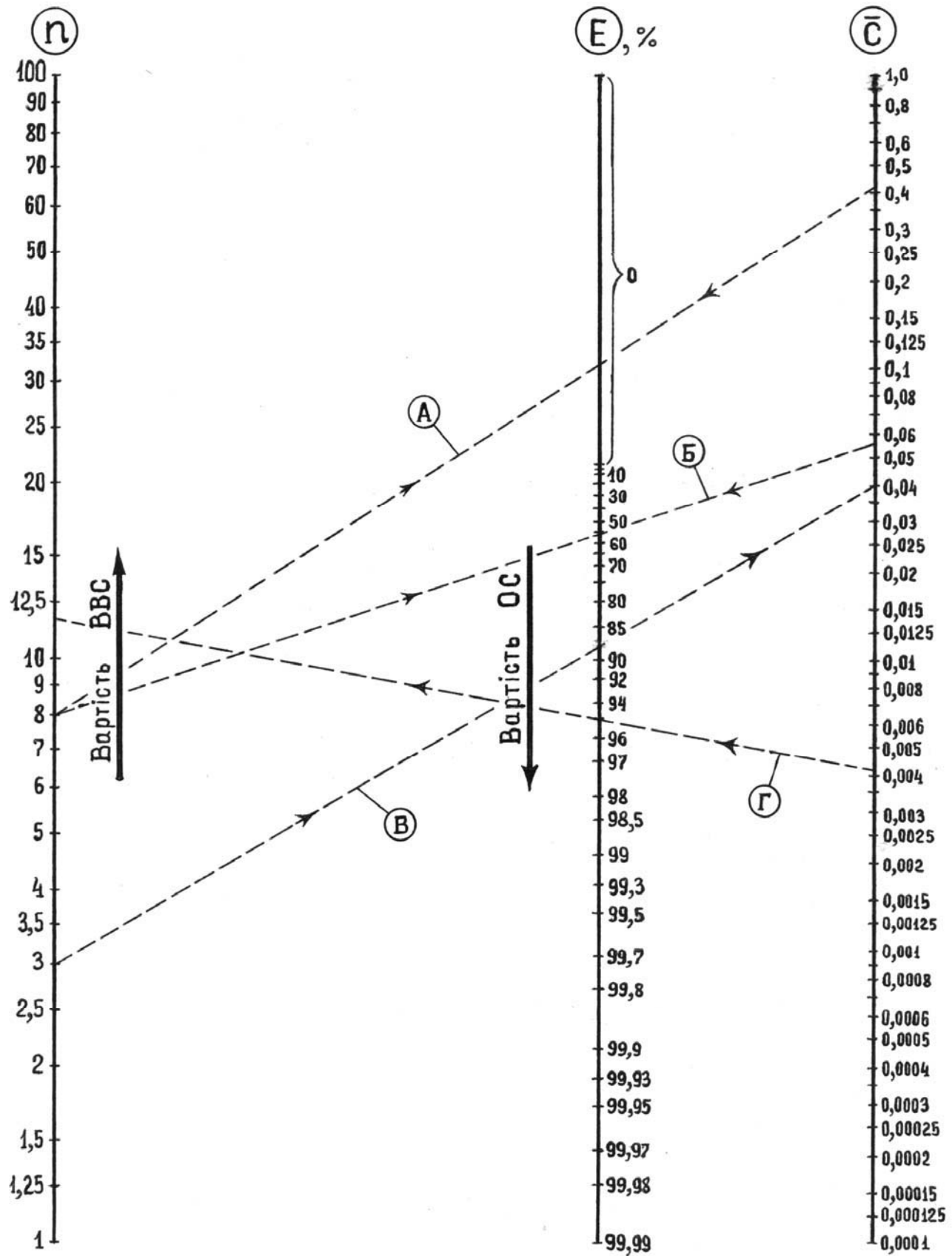


Рис. 3. Номограма для визначення параметрів n , E , \bar{C} з формули (16) (пунктирними лініями показані приклади розрахунку А, Б, В, Г)

В. На промислових підприємствах розглянути можливості застосування малозабруднюючих стічні води технологій та (або) підвищення ефективності очищення цих вод на ЛКОС (рис. 1), що дозволить отримати нові значення $C_{ст}^{(i)'} < C_{ст}^{(i)}$. Перехід до 6 пункту.

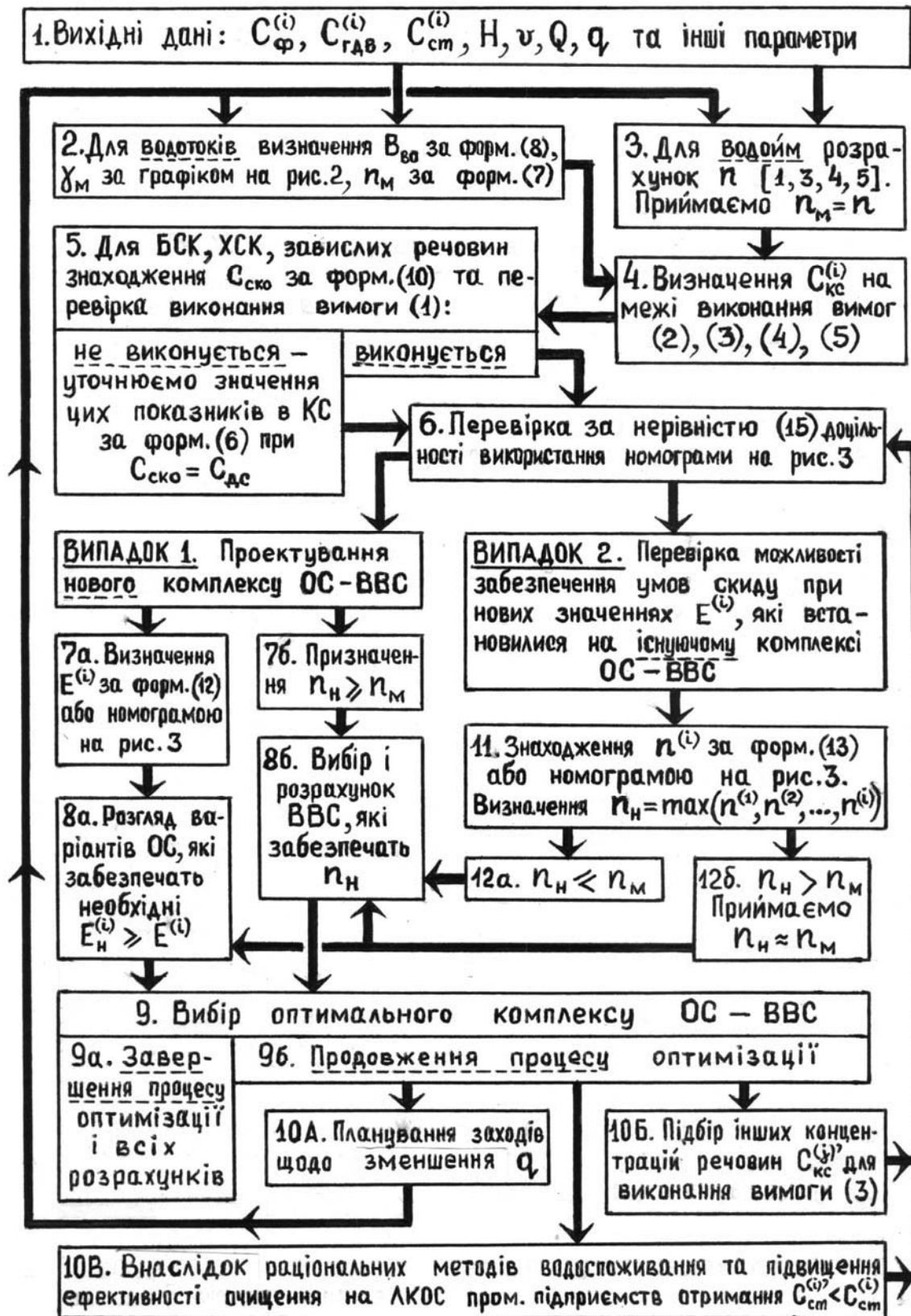


Рис.4. Схема послідовності розрахунків і прийняття рішень при виборі оптимального комплексу очисних та водовипускних споруд, які забезпечать умови скиду стічних вод

Далі слід один або кілька разів для різних варіантів *повторити* розрахунки та провести аналіз забезпечення умов скиду з прийняттям рішень щодо комплексу ОС-ВВС. Цей процес завершується при виборі *оптимального* комплексу (перехід до пункту 9, а).

ВИПАДОК 2. Перевірка можливості забезпечення умов скиду існуючим комплексом ОС-ВВС на якому встановилися *нові* значення $E^{(i)}$ внаслідок збільшення з часом витрат q та (або) погіршення показників якості стічних вод $C_{ст}^{(i)}$.

11. Для i -их показників якості знаходження відповідних значень $n^{(i)}$ за формулою (13) або номограмою на рис. 3 та вибір з них *максимального* (необхідного):

$$n_H = \max(n^{(1)}, n^{(2)}, \dots, n^{(i)}).$$

12. *Порівняння* величин n_H і n_M :

а) якщо $n_H \leq n_M$, то реконструкція та (або) розширення ОС *не є обов'язковими*, а значення n_H зможуть забезпечити ВВС (перехід до пункту 8,б);

б) якщо $n_H > n_M$, то приймаємо $n_H \approx n_M$ і переходимо до виконання пунктів 8,а і 8,б.

Завершенням розрахунку у випадку 2, як й у випадку 1, буде перехід до пункту 9, а (завершення процесу оптимізації).

Список літератури

1. *Інструкція* про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. – Х.: УкрНЦОВ, ЮНІТЕП, 1994. – 80 с.
2. *Правила* охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами (Постанова Кабінету міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465). – К., 1999. – 4 с.
3. *Канализация* населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
4. *Лапшев Н.Н.* Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 88 с.
5. *Методические* основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под. ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 288 с.

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ГІДРАВЛІКИ

Науково-технічний збірник

Випуск 17

Коректура Аргатенко Т.В.
Комп'ютерна верстка Кириченко О.В.

Підписано до друку 15.08.2003. Формат 60x84 1/16
Папір офсетний. Гарнітура Аріал. Друк на різнографі.
Ум. друк. арк. 6,28. Обл.-вид. арк. 6,75.
Ум. фарбовідб. 55. Тираж 120 прим. Вид. № 6/II-03. Зам. № 135/1–03.

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mail: red_isdat@ua.fm

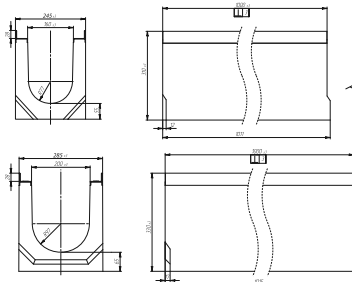
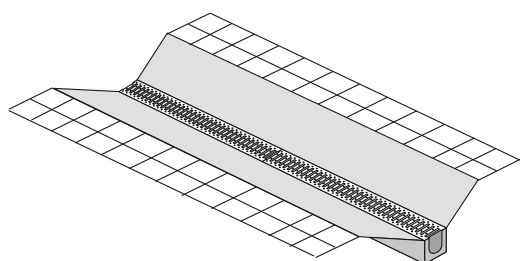
Віддруковано в редакційно-видавничому відділі
Київського національного університету будівництва і архітектури

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 808 від 13.02.2002 р.

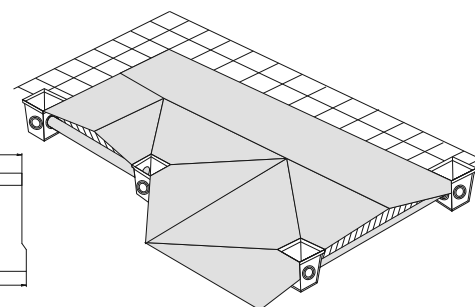
«Стандартпарк» вітчизняний виробник товарів для благоустрою території

Системи поверхневого водовідводу

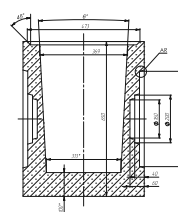
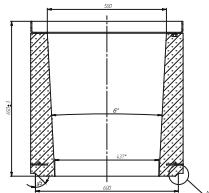
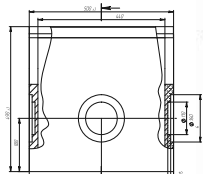
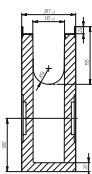
Лінійний тип водовідведення



Точковий тип водовідведення



Матеріал	Клас навантаження	Довжина (мм)	Ширина (мм)	Висота (мм)	Вага (кг)	Пропускна здатність (л/с)
бетон, полімербетон, пластик	15-900 kN A-F (згідно EN 1433)	1 000	100-640	55-610	0,8-457	1,35-213,2



Матеріал	Клас навантаження	Довжина (мм)	Ширина (мм)	Висота (мм)	Вага (кг)	Пропускна здатність (л/с)
бетон, полімербетон, пластик	15-900 kN A-F (згідно EN 1433)	500	100-640	55-610	1,1-257	1,35-213,2

Схема монтажу лінії поверхневого водовідводу

