

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

УДК 628.16.06

ЗЛОВІН Ілля Олександрович

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ ДРЕНАЖНО-РОЗПОДІЛЬЧИХ СИСТЕМ  
ШВИДКИХ ФІЛЬТРІВ

Спеціальність 05.23.04 - водопостачання, каналізація

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 1997

28.2

AB 36.77

Дисертаційна робота виконана в Київському  
університеті будівництва і архітектурного  
університеті.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760986 (-)

Наукові керівники: - академік  
Л.А.Кур  
- кандидат  
доцент С.М.Сребнюк

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор  
М.Г.Пивовар  
- кандидат технічних наук, професор  
О.А.Василенко

Провідна організація - інститут гідротехніки і  
меліорації УААН

Захист відбудеться "12" лютого 1997 р. о 13<sup>00</sup> на засі-  
данні спеціалізованої ради Д 01.18.09 Київського державного техніч-  
ного університету будівництва і архітектури за адресою: Київ - 37,  
Повітрянофлотський проспект, 31, к. 466.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського дер-  
жавного технічного університету будівництва і архітектури.

Відгуки на автореферат просимо надсилати у двох примірниках  
за підписом, завіреним печаткою, на адресу: 252037, м.Київ-37,  
Повітрянофлотський проспект, 31, КДТУВіА. Вчена рада.

Автореферат розіслано "10" січня 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради, кандидат  
технічних наук, професор

М.А.Потапов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дренаж є одним з основних конструктивних елементів швидких фільтрів. Призначений він для відведення фільтрату та регенерації фільтруючого завантаження. Вважається, що він має недостатню надійність, значну металоємкість, велику трупомісткість як при будівництві так і при експлуатації. Недостатня ефективність роботи споруд, що очищують та доочищують стічні води населених пунктів та промислових підприємств, призводить до того, що стічна вода скидається в водойми без очищення, або з недостатнім очищенням. Таким чином вода річок і водоймищ забруднюється завислими та органічними речовинами, нафтопродуктами, амонійним азотом та солями важких металів. Це створює сприятливі умови для виникнення отруйних та інфекційних захворювань.

Все вищесказане обумовлює необхідність пошуку нових технічних рішень, які б інтенсифікували роботу споруд очищення технічної та питної води і особливо на замикаючому ступені, основою якого є різні конструкції швидких фільтрів. В зв'язку з цим рішення проблеми інтенсифікації роботи фільтрів безумовно є актуальним. Воно може бути досягнуте підвищенням ефективності регенерації завантаження, чи використанням нових конструкцій дренажів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи швидких фільтрів шляхом розробки і впровадження вдосконалених конструкцій дренажно-розподільчих систем.

Наукова новизна. На основі теоретичних та експериментальних досліджень запропонована конструкція дренажної системи швидких фільтрів з урахуванням особливості її роботи як при зборі фільтрату, так і при розподілі промивної води.

Встановлена залежність ступеня рівномірності розподілу промивної води від діаметру елементів пористого матеріалу дренажу та величини втрат напору, який виражено через критерій Ейлера.

Одержано критерії Ейлера, Рейнольдса, Вебера для гідродинамічної характеристики пористого дренажу.

Запропонована залежність, що визначає оптимальну відстань між осями окремих розподільчих елементів дренажу в залежності від інтенсивності промивання та діаметра частинок фільтруючого завантаження.

Встановлено вплив вмісту поверхнево-активних речовин /ПАВ/ в воді на гідравлічний опір пористого матеріалу та рівномірність розподілу промивної води.

ЛІСІ А. В. Стефанка  
АН України

Розроблена акустична система контролю завислого шару /АСКЗШ/, що дозволяє безпосередньо контролювати ступінь розширення фільтруючого шару при його промиванні.

Запропоновано метод визначення гідравлічного опору дренажу при будь-якому гідравлічному навантаженні.

#### Практична цінність і реалізація результатів роботи

полягає в істотній інтенсифікації роботи швидких фільтрів; зниженні капітальних та експлуатаційних витрат як при реконструкції діючих очисних споруд, так і в новому будівництві; зменшенні металемкості та трудомісткості монтажу; в можливості розрахунків конструктивних параметрів дренажу з будь-яким наперед заданим ступенем рівномірності розподілу рідини; встановленні залежності вмісту ПАР в воді на гідравлічний опір пористого матеріалу; розробці акустичної системи контролю ступеня розширення фільтруючого шару при промиванні.

Методика розрахунку швидких фільтрів, конструкція дренажу з волокнистим пористим поліетиленом та наведені в роботі рекомендації використані при проектуванні та реконструкції очисних споруд об'єднання "Полтававодоканал" і районного водопроводу "Дніпро-Кіровоград".

Результати дисертаційної роботи впроваджені в учбовому процесі кафедрою водопостачання, водовідведення і екології гідросфери Полтавського технічного університету.

#### Основні положення, що виносяться на захист:

1. Результати аналізу руху рідини через систему дренаж - фільтруючий шар як при очищенні води на фільтрі, так і при його промиванні.
2. Узагальнена модель руху рідини в дренажно-розподільчій системі в критеріальній формі.
3. Модель взаємодії дренажно-розподільчої системи та фільтруючого шару при промиванні фільтра.
4. Конструкція дренажно-розподільчої системи швидкого фільтра з волокнистим пористим поліетиленом, що має високу ступінь рівномірності розподілу води при промиванні фільтра.
5. Економічне обґрунтування доцільності застосування

конструкції дренажу, що враховує рекомендації дисертації.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях Київського Державного технічного університету будівництва і архітектури /1988 р./, Полтавського технічного університету /1990, 1990-1996 р.р./, на нараді НТТ в місті Кременчугі /1988 р./. В цілому робота доповідалася і обговорювалася на семінарах кафедри "Водопостачання, водовідведення і екології гідросфери" Полтавського технічного університету і об'єднаному семінарі кафедри гідравліки, водовідведення і водопостачання Київського Державного технічного університету будівництва і архітектури в 1996 році.

Публікації результатів. По темі дисертації опубліковано 9 друкованих робіт, в тому числі одне авторське свідоцтво на винахід.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури, що містить 135 назв, та 8 додатків. Об'єм роботи складає 172 сторінки машинописного тексту, в тому числі 12 таблиць і 42 ілюстрації. Об'єм додатків - 8 сторінок.

### КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані ціль і задачі досліджень, дана загальна характеристика, наукова новизна, практична цінність роботи.

В першій главі "Огляд відомих дренажно-розподільчих систем і кінематичних моделей їх роботи" проведено аналіз сучасних конструкцій дренажно-розподільчих систем в плані інтенсифікації їх роботи. Відмічається, що існує багато конструкцій дренажних систем. Причини їх багаточисельності є: прагнення інтенсифікувати роботу швидкого фільтра і дренажно-розподільчої системи зокрема; наявність суттєвих недоліків в конструкціях, що застосовуються.

Трубчаті дірчаті дренажі улаштовуються з гравійними підтримуючими шарами, які потребують додаткової висоти фільтра. Це призводить до зміщення гравійних шарів і виходу фільтра з ладу. Відбувається також корозія труб. Дренаж має велику металоємкість.

Щільові трубчаті дренажі трудомікі в виготовленні. При експлуатації щільові дренажі заклинюють зернами засипки фільтра. Щільовані пластмасових труб знижує їх міцність.

Ковпачкові дренажі мають високу індустріальність виготовлення,

але потребують великих затрат ручної праці при монтажі.

Пористобетонні дренажі прості в виготовленні і дешеві, якщо застосовуються цементи, але вони руйнуються при фільтруванні води, обробленої коагулянтами. Якщо застосовуються епоксидні смоли, вартість їх значно підвищується.

Дренажі з формуванням склепіння рекомендуються для застосування в фільтрах з висхідною фільтрацією. Застосування їх в звичайних фільтрах вивчено недостатньо.

В останні роки намітилася тенденція застосування в швидких фільтрах безгравійних пористих дренажних систем.

В дисертації зазначено, що дослідження по інтенсифікації роботи дренажно-розподільчих систем можуть бути направлені на пошук матеріалу, більш технологічного ніж полімербетон, і конструкції дренажу, що має перевагу в порівнянні з полімербетонним дренажем.

Детальний аналіз основних вимог, що пред'являються до дренажно-розподільчих систем швидких фільтрів, дозволив стверджувати, що в конструкції дренажу може бути примінено новий матеріал - волокнистий пористий поліетилен. Фільтраційні властивості його в умовах роботи в швидких фільтрах вивчені недостатньо.

В дренажно-розподільчих системах швидких фільтрів відбувається рух води з змінною масою з нерівномірним розподілом /збором/ по довжині. Існуючі математичні моделі нерівномірного руху води змінної маси не враховують зміну коефіцієнта витрат по довжині дренажу, а також вплив на рівномірність розподілу /збору/ зміни поверхневого натягу при фільтрації промислових вод з високою концентрацією ПАВ. Дренажно-розподільча система фільтра повинна забезпечити рівномірність як розподілу, так і збору води.

В главі проведено обґрунтування та сформульовано задачі дослідження, спрямовані на підвищення ефективності роботи швидких фільтрів шляхом розробки удосконалених конструкцій і методів розрахунку дренажно-розподільчих систем.

У другій главі "Теоретичні дослідження інтенсифікації роботи дренажно-розподільчих систем" проведено аналіз роботи дренажної системи швидкого фільтра при двох режимах: зворотнього промивання фільтруючої засипки і фільтруванні /очисненні/ води.

Встановлено, що так як при очищенні води відбувається нерівномірна кольмтація фільтруючої засипки, то для забезпечення рівномірності розподілу промивної води, різниця втрат напору в фільтруючій засипці або збільшення відновленого напору повинно бути ком-

пенсовано збільшенням втрат напору в дренажі.

Втрати напору в дренажі повинні змінюватися відповідно закону зміни діючого напору. Найбільш припустимо здійснювати зміну втрат напору по довжині розподільника в конструкціях з пористого бетону або балочно-щільовому дренажі з використанням волокнистого пористого поліетилену, змінюючи діаметр елементів пористого матеріалу в напрямку розподілу води.

Втрати напору в зернистій засипці і в дренажі фільтра залежать не тільки від конструктивних параметрів, а й від властивостей води, а саме: густини, в'язкості, поверхневого натягу.

При експлуатації фільтрів в комунальному водопостачанні, де поверхневий натяг природної води практично не змінюється, останній не враховується в розрахунках. Але в промисловому водопостачанні, по мірі того як у воді збільшується кількість ПАВ, гідравлічний опір буде залежати від числа Вебера через малість числа Рейнольдса. Зменшення гідравлічного опору призведе до зменшення рівномірності розподілу промивної чи збору фільтрованої води.

В дренажах, виготовлених із пористого матеріалу, питомі втрати напору  $\frac{\Delta H}{\ell}$  визначаються характерним діаметром  $d$  /гранул, волокон чи прохідних отворів/, швидкістю фільтрації  $v$ , густиною води  $\rho$ , динамічною в'язкістю  $\mu$ , поверхневим натягом  $\sigma$ .

Всі перелічені величини можуть бути подані залежністю:

$$\frac{\Delta H}{\ell} = f(d^a, v^b, \rho^c, \mu^k, \sigma^e). \quad / 1 /$$

Рівняння / 1 / має багато рішень в залежності від того, відносно яких невідомих вони проводяться. Так як при фільтрації найбільш важливою є зміна в'язкості і поверхневого натягу, то рішенням / 1 / буде рівняння:

$$Eu \frac{d}{\ell} = f \left[ \left( \frac{1}{Re} \right)^k, \left( \frac{1}{We} \right)^e \right]. \quad / 2 /$$

Рівняння / 2 / є критеріальним рівнянням гідродинаміки стосовно рішення задач фільтрації через зернистий шар фільтра, а також пористий дренаж-розподільник.

Ефективність роботи швидкого фільтра в значній мірі залежить і від взаємодії дренажно-розподільчої системи і фільтруючого шару. Витікання промивної води через отвори розподільчих трубопроводів чи пористих матеріалів відбувається з утворенням затоплених струменів. Перехід засипки в завислий стан при промиванні може бути ви-

значений через критичну швидкість зависання та число Архімеда. Аналіз цього процесу дозволив прийняти за математичну модель взаємодії засипки і дренажу фільтра таке рівняння:

$$\ell_c = A d W / \sqrt{v_{кр}}. \quad /3/$$

де  $\ell_c$  - ширина струменя на рівні накладання суміжних струменів;  
 $d$  - діаметр частинок фільтруючої засипки;  $W$  - інтенсивність промивання фільтра;  $\sqrt{v_{кр}}$  - критична швидкість, що відповідає початку зависання часток завантаження;  $A$  - безрозмірний параметр.

Третя глава "Експериментальні дослідження інтенсифікації роботи дренажно-розподільчих систем швидких фільтрів" присвячена питанню моделювання руху води в дренажно-розподільчих системах, опису експериментальних установок та методик дослідження.

На основі теоретичного аналізу доведено, що при прийнятих умовах збереження параметрів воли  $\sqrt{v}, \rho, \sigma$  на моделі і в нату - рі, а також при  $d_m = d_n$  - масштаб моделювання як для швидкості, так і для витрат, повинен бути рівним одиниці. Враховуючи це, прийнято фрагментарне моделювання на п'яти моделях.

При дослідженні течії води в пористому матеріалі використані однорічні моделі з такими розмірами, при яких можна знехтувати впливом стінок.

Для вивчення розподілу промивної воли використано розподільник з еквівалентним діаметром піддонного каналу і довжиною, характерними для швидких фільтрів очисних споруд. Для вивчення взаємодії дренажно-розподільчої системи і засипки фільтра та затримуючої дії дренажу з утворенням склепіння використані циліндричні /плоскі/ моделі. Ширина їх дозволяє досліджувати ефективність промивання фільтра при відстані між розподільниками від 0,2 до 1,2 м.

Всі дослідження проведено на воді питної якості. Установки працювали по замкнутій циркуляційній схемі.

Дослідження затримуючої здатності дренажу з утворенням проведено на моделі з діаметром дірчатої розподільчої труби 75 мм. Ефективність утворення склепіння під ковпаком оцінювалася по кількості твердої фази у фільтраті шляхом її зважування на терезах з точністю до 0,1 мг. Вивчалася робота дренажу як в статичних умовах, так і при вібрації. Збудження коливання відбувалося при допомозі вібростолу ВС-1 з частотою вібрації 20-30 Гц і амплітудою 0,015 мм. Як фільтруючий матеріал використано кварцевий пісок з мінімальним діаметром 0,5 мм, активоване вугілля  $d_{\text{мін}} = 0,5$  мм, іоніт АН-17  $d_{\text{мін}} = 0,3$  мм.

Досліди проведено при швидкостях фільтрації 0-40 м/год. Витрати води на установці визначалися ваговим способом.

Вивчення закономірності фільтрації води, що має різний поверхневий натяг, проведено на стенді з колоною діаметром 100 мм, виготовленої з органічного скла. Досліди проведено при швидкості фільтрації 0-75 м/год і еквівалентному діаметрі частинок засипки 0,75; 1,5; 3,5; 8,5 мм. Поверхневий натяг змінювався від 0,073 Н/м до 0,035 Н/м. Зміна поверхневого натягу досягалася дозуванням в воду поверхнево-активної речовини ОП-10. Поверхневий натяг визначався методом капілярного підняття.

Для проведення дослідження рівномірності розподілу промивної води була створена напіввиробнича установка довжиною 4,3 м та еквівалентним діаметром піддонного каналу 0,16 м, з нерухомим пористим шаром з гравійної засипки. Як водомір був використаний трапецоїдальний водозлив. Витрати води становили від 2,6 л/с до 54 л/с.

Дослідження фільтраційних характеристик волокнистого пористого поліетилену проведено в скляній колонці діаметром 36 мм при швидкості фільтрації 0-120 м/год і товщині зразка 22, 55, 82, 145 і 350 мм. Діаметр елементарних волокон поліетилену становив 0,3 мм.

Взаємодія пренажу і фільтрувальної засипки досліджена в щільовому лотку 705x535x105 мм, в якому передня стінка для контролю досліду та можливості фотографування, виготовлена з вітринного скла. Досліди проведено з двома фракціями піску: мілкозернистого  $d_{50}=0,45$  мм і крупнозернистого  $d_{50}=1,3$  мм. Моделювалася промивка фільтра з найменшою інтенсивністю 1,25 л/с·м<sup>2</sup> і найбільшою - 18 л/с·м<sup>2</sup>.

В роботі застосована акустична система контролю завислого шару /АСКШ/, що дозволяє контролювати якісні параметри промивання / є зависання, розширення завантаження чи ні/. До її складу входить кристалічний п'єзодатчик, широкополосний підсилювач звукової частоти та осцилограф і вольтметр. Чутливість розробленої системи достатня для виявлення верхнього кордону завислого шару засипки.

З метою одержання достатньої кількості необхідних даних при задовільному контролі та мінімальних затратах часу на проведення дослідів, відповідні розрахунки і статистичну обробку результатів, проведено послідовне планування експериментальних досліджень. Перевірка адекватності прийнятих математичних моделей проводилася по критерію Фішера. Статистична оцінка одержаних даних, регресійний аналіз наближення функції методом найменших квадратів проведені за допомогою ЕОМ. Для забезпечення 95%-ї імовірності кількість дослі-

дів в кожній серії прийнята не меншою І9.

В четвертій главі "Аналіз гідродинамічних характеристик дренажно-розподільчих систем" проведено аналіз гідродинамічних характеристик дренажно-розподільчих систем, одержаних в результаті експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження ефективності дренажної системи з утворенням склепіння дозволили одержати залежність кількості твердої фази у фільтраті від швидкості фільтрування. Аналіз одержаної залежності дозволяє стверджувати, що при звичайних швидкостях фільтрації на пісчаних фільтрах / до І0-І2 м/год / кількість твердої фази, що виноситься, пропорційна швидкості фільтрації. При більшій швидкості винесення піску різко збільшується. Теж саме спостерігається при засипці фільтра іонітом чи активованим вугіллям. Різниця тільки в тому, що густина цих матеріалів в порівнянні з піском менша і винесення частинок відбувається при меншій швидкості. При засипці з кварцевого піску, дренаж з утворенням склепіння може бути застосовано в фільтрах з малою швидкістю фільтрування, а саме до 4 м/год.

Вібрація фільтра / що має місце в пересувних установках / значно збільшує винесення фільтруючого матеріалу з фільтратом. При швидкості І0 м/год і вібрації кількість винесеної твердої фази в 2,2 рази більша ніж без вібрації, а при швидкості І2 м/год - в 2,4 рази. При завантаженні швидкого фільтра іонітом чи активованим вугіллям застосовувати цей дренаж не має сенсу.

Одержані експериментальні дані узгоджуються з розрахунками, що проведені по залежності О.М.Тодеса.

Отже при високій швидкості фільтрування потрібно приймати пористу конструкцію дренажу, яка запобігає винесенню зерен фільтруючого матеріалу. Саме це рішення закладено в конструкцію щільного дренажу з заповненням щільним волокнистим пористим поліетиленом. Проведені дослідження показують, що винесення частинок фільтруючої засипки через нього відсутнє. Якщо витримуються вимоги до діаметру елементарних волокон та товщини шару поліетилена, що сформульовані раніше О.І.Кривоногом, то не відбувається і кольматація цього матеріалу. Крім того в умовах промивання фільтра водою, що рухається знизу вверх, відсутній тиск засипки на пористий поліетилен і вплив тиску на гідродинамічні характеристики поліетилена можна не враховувати. Втрати напору в ньому при фільтрації і при промиванні такі, як і в дренажі великого опору.

Для визначення залежності втрат напору в волокнистому пористому поліетилені від конструктивних і гідродинамічних параметрів проведено розгорнені дослідження. Встановлено, що градієнт напору може бути виражений двоچленною залежністю:

$$\zeta = 0.014 V + 0.00015 V^2 \quad /4/$$

Застосовувачи метод, розроблений Ф.І.Котяховим і Г.Ф.Требіним, встановлено, що при  $Re' = 1,5$  має місце ламінарна фільтрація.

На рис. 1 подана залежність числа Ейлера і конструктивного параметра від числа Рейнольдса при фільтрації поперек волокон пористого поліетилену:

$$Eu \frac{d_{ев}}{H} = \frac{44}{Re^{0.91}} \quad /5/$$

Підставивши значення критеріїв Ейлера і Рейнольдса в рівняння /5/, одержуємо рівняння для визначення втрат напору в волокнистому

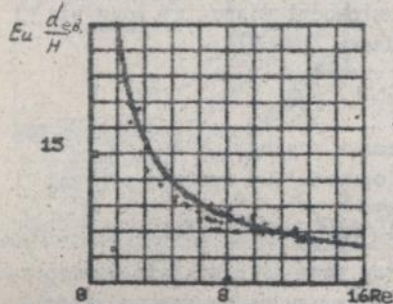


РИС. 1. ЗАЛЕЖНІСТЬ  $Eu \frac{d_{ев}}{H}$  (К $Re$ ) ДЛЯ ПОРИСТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

поліетилені:

-при фільтрації поперек волокон:

$$\Delta H = 88 Re^{-0.91} H d_{ев}^{-2} V^2 / (2g n^2); \quad /6/$$

-при фільтрації вздовж волокон:

$$\Delta H = 50 Re^{-0.91} H d_{ев}^{-2} V^2 / (2g n^2). \quad /7/$$

При визначенні значення коефіцієнта в рівнянні /7/ враховано результат дослідження М.Г.Пивовара та О.І.Кривоного, що коефіцієнт фільтрації вздовж волокон в 1,5 - 2 рази більший за коефіцієнт поперечної фільтрації.

Нами виявлено, що число Ейлера залежить від числа Вебера при фільтрації води, що містить ПАВ. Величина впливу залежить від числа Рейнольдса. З зростанням його спостерігається автомодельність числа Ейлера відносно числа Вебера /рис.2/. Це спостерігається при  $Re = 80$  і  $We = 0,015$ . При фільтрації через піщану та гравійну засипку число Ейлера визначається по формулі:

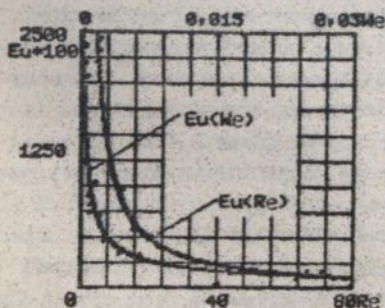


РИС. 2. ЗАГАЛЬНИЙ ГРАФІК ЗАЛЕЖНОСТІ  $Eu(Re, We)$

$$Eu = 1,44 \cdot 10^6 \cdot Re^{-1,14} - 760 (We_0^{-0,214} - We^{-0,214}). \quad / 8 /$$

Для пористого поліетилену, з урахуванням конструктивного параметру, число Ейлера дорівнює:

$$Eu d_{e,8} H^{-1} = 50 Re^{-0,91} - 380 d_{e,8} H^{-1} (We_0^{-0,214} - We^{-0,214}). \quad / 9 /$$

При фільтрації рідини, що має поверхневий натяг  $\sigma$  /  $\sigma_0$  / рівний поверхневому натягу чистої води /  $\sigma_0$  /, вираз в дужках дорівнює нулеві так як число  $We = We_0$  і рівняння /8,9/ приймають вигляд звичайної залежності  $Eu(Re)$ . Але при фільтрації води, поверхневий натяг якої відрізняється від поверхневого натягу чистої води, зменшення числа Ейлера приймає досить відчутне значення /до 30% /. Такі зміни числа Ейлера, і відповідно втрат напору, призводять до зменшення показника ступеня рівномірності розподілу /збору/ води.

Результатом дослідження розподільника з статичною гравійною засипкою є залежність показника рівномірності розподілу води від конструктивного параметра та числа Ейлера /рис.3/:

$$m = \sqrt{1 - 3,1 / (Eu \cdot D_e \cdot L^{-1})}, \quad /10/$$

де  $D_e, L$  - еквівалентний діаметр і довжина розподільника.

Мачи на увазі, що  $Eu = g \Delta H V^{-2}$ , формула /10/ приймає вигляд:

$$m = \sqrt{1 - 6,2 L D_e^{-1} V^2 \Delta H^{-1} (2g)^{-1}}. \quad /11/$$

Тобто, показник рівномірності розподілу води залежить від конструктивного параметра  $L D_e^{-1}$  і відношення швидкісного напору до втрат напору в дренажі. Збільшення рівномірності розподілу води в дренажно-розподільчій системі швидкого фільтра буде сприяти: збільшення втрат напору при витіканні в фільтруючу засипку /в пористому матеріалі несправжнього дна фільтра/; зменшення діаметра пористого матеріалу дренажа; збільшення товщини пористого матеріалу дренажа; збільшення еквівалентного діаметра умовного каналу, по якому рухається промивна вода в піддонні фільтра /або в розподільнику/; зменшення довжини розподільника /або сторони фільтра, що перпендикулярна боковому та центральному каналів/; зменшення швидкості руху води.

В дисертаційній роботі встановлено також, що відстань  $L_{ш}$  між окремими елементами, що розподіляють воду, залежить від діаметра фільтруючої засипки  $d$  та числа псевдозріднення  $\frac{W}{V_{кр}}$ :

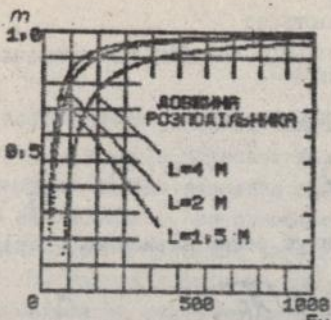


РИС. 3. ЗАЛЕЖНІСТЬ РІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ВОДИ ВІА ЧИСЛА ЕЙЛЕРА

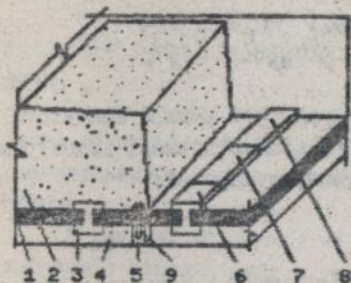


РИС. 4. КОНСТРУКЦІЯ ДРЕНАЖУ З ВОЛОКНИСТИМ ПОРИСТИМ ПОЛІЕТИЛЕНОМ

трубча засипка 2. Між плитами встановлюються водопроникні вставки 8, котрі запобігають винесенню засипки фільтра в піддоння і служать для забору фільтрату і розподілу промивної води. Залізобетонні плити розміщені на опорах 5 з анкерами 9.

Пористі вставки мають двотавровий профіль. Це запобігає можливості відриву вставки висхідним потоком води. Товщина полиці вставки в 2 см сприяє утворенню горизонтальних потоків в засипці і запобігає утворенню ділянок, що не промиваються. Для забезпечення рівномірності розподілу води вставки виконуються у вигляді секцій, наприклад, 6, 7, 8, з різною пористістю чи діаметром елементарних волокон, що зменшуються в напрямі руху промивної води.

Виготовлення вставок проводиться з волокнистого пористого поліетилену згідно ТУ 33 УССР І74-88 та ТУ 33 УССР І79-88.

Дренаж з пористими поліетиленовими вставками може бути використаний як при новому будівництві, так і при реконструкції діючих фільтрів.

$$\ell_{ц} = 0.2 d \frac{W}{V_{кр}} \quad /12/$$

де  $W$  - інтенсивність промивання фільтра, л/с.м<sup>2</sup>;  $V_{кр}$  - критична швидкість псевдозрідження, що визначається рівнянням О.М.Тодеса. Рівняння справедливе для піску з еквівалентним діаметром від 0,43 до 1,5 мм.

Для сполучення піддону з боковим та центральним каналом можна не влаштовувати патрубків великого опору, якщо опір несправжнього дна більше двох метрів вод.ст. При цьому забезпечується необхідний ступінь рівномірності розподілу промивної води ( $m \geq 0,95$ ).

В п'ятій главі "Рекомендації та застосування результатів дослідів" приведено опис конструкції балочно-щільового дренажу з волокнистим пористим поліетиленом, методика розрахунку та економічна доцільність його впровадження.

Основою дренажу /рис.4/ є залізобетонні водонепроникні плити чи балки І, на яких розміщується фільтруюча засипка 2.

трів.

При розрахунку дренажа визначається:

Відстань між щілинами несправжнього дна фільтра визначається по формулі /12/.

Критична швидкість зависання засипки, м/с, визначається по формулі:

$$v_{кр} = Re_{кр} v / d. \quad /13/$$

Число Рейнольдса, що характеризує режим зависання, порівнює:

$$Re_{кр} = Az / (1400 + 5,22 \sqrt{Az}), \quad /14/$$

де  $Az = g d^3 (\rho_r - \rho) / (v^2 \rho)$  - число Архімеда;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  
 $\rho_r, \rho$  - густина піску та води, кг/м<sup>3</sup>.

Гідрравлічний опір дренажу з волокнистого пористого поліетилену, м:

$$\Delta H = [50 Re^{-0,91} - 380 d_{cp}^{-1} (We_o^{-0,714} - We^{-0,714})] H d_{cp}^{-1} v n^{-2} (2g)^{-1} /15/$$

де  $Re = v d_{cp} (n v)^{-1}$  - число Рейнольдса при русі води з швидкістю  $v$  в ставці з пористістю  $n$ , та середнім по довжині діаметром матеріалу  $d_{cp}$  вставки, який визначається по формулі:

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^N d_{e,i} / N, \quad /16/$$

де  $N$  - число секцій по довжині щілини дренажу з діаметром елементарних волокон  $d_{e,i}$ .

Показник ступеня рівномірності розподілу промивної води:

$$m = \sqrt{1 - 3,1 L_2 v^2 / (g \Delta H D_e)}, \quad /17/$$

де  $L_2$  - сторона фільтра, перпендикулярна боковому чи центральному каналу, м;  $D_e$  - еквівалентний діаметр умовного каналу піддона, м.

В роботі проведено розрахунок економічної щільності застосування нової конструкції дренажу в порівнянні з традиційною трубчаток лірчаток з гравійними підтримуючими шарами і визначено, що будівництво нового дренажу буде на 20-25% дешевше існуючого.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних конструкцій дренажно-розподільчих систем швидких фільтрів дозволив виявити тенденцію застосування пористих дренажних систем великого опору. Підвищення ефективності регенерації завантаження, чи використання нових конструкцій дренажів є перспективний напрямок інтенсифікації роботи швидких фільтрів.

2. Розподіл води в дренажних системах швидких фільтрів розглядається як рух із змінною масою. Задача розподілу розв'язується рівняннями руху змінної маси і витікання із отвору. Більшість рішень цих рівнянь приведено з умовою, що коефіцієнт витрати є постійним. Труднощі викликає також необхідність досягнення рівномірності як розподілу промивної, так і збору фільтрованої води.

Проведені в роботі дослідження доказують зміну коефіцієнта витрат по довжині дренажу і вплив його на рівномірність розподілу води.

3. На основі експериментальних даних одержана формула визначення показника рівномірності розподілу води пористим дренажем - розподільником в залежності від конструктивного параметру і числа Ейлера.

Доведено, що зменшення діаметра елементів пористого матеріалу дренажу в напрямі руху води призводить до збільшення показника рівномірності розподілу води при менших значеннях втрат напору.

4. Порівняльні експериментальні дослідження дренажу з утворенням склепіння з волокнистим пористим поліетиленом показали, що дренаж з утворенням склепіння може бути застосований в швидких фільтрах при швидкості фільтрування не більше від 4 м/год, так як швидкість висхідного потоку під ковпаком стає більшою за швидкість зависання кварцевого піску. Застосування цього дренажу в фільтрах, завантажених активованим вугіллям чи іонообмінною смолою, не ефективне.

Дренаж з волокнистим пористим поліетиленом запобігає винесенню засипки фільтратом, не кольтатується, має великий термін експлуатації, а втрати напору відповідають тим, що рекомендуються для дренажу великого опору.

5. Дослідженнями встановлена наявність впливу поверхнево-активних речовин на гідрравлічний опір пористого фільтруючого шару. Цей вплив спостерігається при значенні числа Рейнольдса до 80 і числа Вебера до 0,015. Одержано критеріальне рівняння, що враховує вплив

сил поверхневого натягу води. Це має велике значення при розрахунках фільтрів промислового водопостачання.

6. Доведено, що гідродинамічні характеристики волокнистого пористого поліетилену можуть бути виражені конструктивним параметром та критеріями Ейлера, Рейнольдса, Вебера. Запропонована залежність, яка дозволяє визначати втрати напору в волокнистому пористому поліетилені. Встановлено, що при швидкості, яка відповідає промиванню швидкого фільтра, спостерігається турбулентний режим руху води.

7. При забезпеченні втрат напору в пористому дренажі не менше 2 м може бути застосовано сполучення між піддоном і боковим чи центральним каналом фільтра без патрубків додаткового опору. При цьому забезпечується потрібна рівномірність розподілу промивної води.

8. Запропонована конструкція дренажно-розподільної системи швидкого фільтра з волокнистим пористим поліетиленом / на яку одержано авторське свідоцтво/, що враховує одержані на основі проведених досліджень рекомендації з інтенсифікації роботи дренажного обладнання фільтра. Розроблена методика інженерного розрахунку запропонованого дренажу.

9. Техніко-економічне порівняння нового дренажу і трубчатого дірчатого з підтримуючими гравійними шарами показало ефективність застосування дренажу з волокнистим пористим поліетиленом.

Впровадження нової конструкції зменшує капітальні витрати в 1,2-1,3 рази.

Результати дисертаційної роботи відображені в методичних вказівках до курсового і дипломного проектування для студентів спеціальності "Водопостачання, водовідведення, раціональне використання і охорона водних ресурсів" /7.092602/ і неодноразово запроваджені в дипломному проектуванні в Полтавському технічному університеті.

Одержані в дисертаційній роботі результати можуть бути використані в комунальному та промислового водопостачанні.

#### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В РОБОТАХ:

1. Медведєв М.И., Злобин И.А. Исследование работы безгравийных дренажей скорых фильтров // Известия вузов "Строительство и архитектура", 1975, № 7. С.110-114.
2. Злобин И.А., Медведєв М.И. О распределении промывной воды в дренаже балочного типа с гранулированной загрузкой щели // Известия вузов "Строительство и архитектура", 1976, № 1. С.129-132.
3. А.с. 1636014. В ОI Д24/20. Дренажно-распределительное устройство

- фільтра для очистки води /Злобин И.А., Клепиков А.Д. СССР.1991.-2с.
4. Злобин И.А. Влияние поверхностного натяжения воды на гидравлическое сопротивление при движении ее через зернистый слой. Полтавский инженерно-строительный институт. - Полтава, 1989. -6с. Деп. в ВНИИС Госстроя СССР, № 8911.
  5. Злобин І.О., Сребнюк С.М. Критеріальне рівняння руху води через пористе середовище в дренажно-розподільчих системах. Полтавський технічний університет. -Полтава,1995. - II с. Деп. в ДНТБ України, № 1332-Ук95.
  6. Злобин І.О., Сребнюк С.М. До питання вибору оптимальних конструктивних параметрів розподільчих пристроїв швидких фільтрів. Полтавський технічний університет. -Полтава,1995.-12 с.Деп. в ДНТБ України, № 1921-Ук95.
  7. Злобин И.А. Исследование безгравийного дренажа скорых фильтров // Информация и хроника 49 НП конф. КИСИ /// Водоснабжение и санитарная техника. № II, 1988. -С.29.
  8. Злобин І.О.,Сребнюк С.М. Про гідравлічні характеристики безгравійних дренажів з зернистою загрузкою // Тези доп. /// 47 наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Полтавський технічний університет. Полтава, 1995. -С.98.
  9. Злобин І.О., Сребнюк С.М. Фільтраційні характеристики дренажу з пористого поліетиленового волокна // Тези доп. /// 48 наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Полтавський технічний університет. Полтава, 1996. -С.101.

Злобин И.А. Интенсификация работы дренажно-распределительных систем скорых фильтров.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 - водоснабжение, канализация. Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры, Киев.1997.

Защищается научная работа, которая содержит теоретические и экспериментальные исследования интенсификации работы дренажно-распределительных систем скорых фильтров. Проанализированы сбор фильтрата и распределение промывной воды дренажом.

Предложено применять при нисходящей фильтрации со скоростью до 4 м/ч дренажи с образованием сводов. При большей скорости - пористые конструкции. Исследованы гидродинамические характеристики воло-

нистого пористого полиэтилена. Предложена математическая модель, состоящая из уравнений в критериальной форме, описывающая распределение /сбор/ воды и взаимодействие дренажа и фильтрующей загрузки, и учитывающая изменение поверхностного натяжения воды.

С учетом предложенных мероприятий, обеспечивающих высокую степень равномерности распределения воды, разработана новая конструкция балочно-щелевого дренажа из волокнистого пористого полиэтилена и методика инженерного расчета.

Ключевые слова: скорые фильтры, дренаж, поверхностное натяжение, равномерность распределения, волокнистый пористый полиэтилен.

Zlobin I.A. Intensification of Rapid Filters Drainage Distribution Systems.

Thesis for achieving scientific degree of the candidate of technical sciences in speciality 05.23.04, -Water supply and sewerage. Kyiv state technical university of construction and architecture, Kyiv, 1997.

A scientific paper is defended, containing theoretical and experimental researches of intensification of rapid filters drainage distribution systems. The collecting of the filtrate has been analyzed as well as the distribution of the filtered water with the help of the drainage.

With downflow filtration at the speed 4 m/hour it is suggested to use drainages formulating vaults. At the higher speed - porous constructions. The hydrodynamic characteristics of fibrous porous polyethylene have been studied. The mathematical model consisting of the criterion equations is suggested. It describes the distribution of water and interaction of the drainage and filtering load, taking into account the change in the surface tension of the water.

All these elaborations provide for a high degree of even water distribution. The new construction of slot drainage from fibrous porous polyethylene has been worked out as well as the methods of engineering calculation.

The key words: rapid filters, drainage, surface tension, even distribution, fibrous porous polyethylene.



AB 36.773