

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
магістра

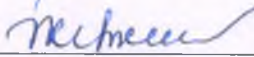
на тему: Дослідження ефективності сепарації краплин в жалюзійних водоуловлювачах охолоджуючих апаратів  
за освітньою програмою Теплоенергетика  
зі спеціальності: 144 Теплоенергетика

Виконав: студент групи ТЕ2121:



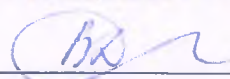
/ Вадим КОРНІЯШИК /

Керівник:



/ доцент Олександр ЖЕВЖИК /

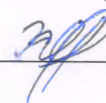
Нормоконтролер:



/ доцент Віктор ДЬЯКОВ /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Дніпро – 2022 рік

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Управління енергетичними процесами  
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання  
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)  
Освітня програма: Теплоенергетика  
Спеціальність: 144 "Теплоенергетика"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ  
Дмитро БОСІЙ

Дата 05.08.22

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу магістр з теплоенергетики

студенту Корніяшику Вадиму Івановичу

1. Тема роботи: "Дослідження ефективності сепарації краплин в жалюзійних водоуловлювачах охолоджуючих апаратів.

Керівник роботи: Жевжик Олександр Владиславович, к.т.н., доцент

затверджені наказом від

" 14 " 04 " 2022 р. № 318ст

2. Строк подання студентом роботи: 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

параметри повітря та краплинного потоку на вході в жалюзійний водоуловлювач

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1. Вступ

4.2. Дослідження існуючих рішень процесу уловлювання краплин в жалюзійних водоуловлювачах охолоджувачів води.

4.3. Математичне моделювання руху краплин у потоці повітря

4.4. Дисперсність розпилювання

4.5. Результати розрахунків

4.6. Висновки і рекомендації

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Існуючі схеми жалюзійних водоуловлювачів.

Математична модель.

Дисперсність краплин води.

Результати розрахунків.

Висновки.

6. Консультанти розділів роботи:

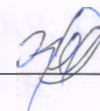
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав:<br>(підпис консультанта, дата) | Завдання прийняв:<br>(підпис студента, дата) |
|--------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|        |                                           |                                                |                                              |
|        |                                           |                                                |                                              |
|        |                                           |                                                |                                              |
|        |                                           |                                                |                                              |

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                    | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | ВСТУП                                                                                                  | 1.11.2022                     | 10%      |
| 2     | ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ КРАПЛИН В ЖАЛЮЗІЙНИХ ОДОУЛОВЛЮВАЧАХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ ВОДИ | 7.11.2022                     | 20%      |
| 3     | МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КРАПЛИН У ПОТОЦІ ПОВІТРЯ                                                  | 14.11.2022                    | 20%      |
| 4     | ДИСПЕРСНІСТЬ РОЗПИЛЮВАННЯ                                                                              | 28.11.2022                    | 20%      |
| 5     | РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ                                                                                 | 05.12.2022                    | 25%      |
| 6     | ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ                                                                                | 12.12.2022                    | 5%       |

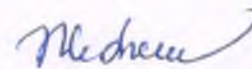
Студент

Вадим КОРНІЯШИК



Керівник роботи

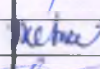
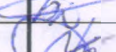
Олександр ЖЕВЖИК





## ЗМІСТ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                           | 7  |
| 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ<br>КРАПЛИН В ЖАЛЮЗІЙНИХ ВОДОУЛОВЛЮВАЧАХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ<br>ВОДИ ..... | 11 |
| 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КРАПЛИН У ПОТОЦІ<br>ПОВІТРЯ .....                                                      | 20 |
| 2.1 Фізичне уявлення .....                                                                                            | 20 |
| 2.2 Припущення в математичній моделі .....                                                                            | 21 |
| 2.3 Рівняння руху та тепломасообміну краплин .....                                                                    | 22 |
| 3 ДИСПЕРСНІСТЬ РОЗПИЛЮВАННЯ .....                                                                                     | 25 |
| 4 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ .....                                                                                        | 28 |
| ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....                                                                                        | 49 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                                                | 50 |

|           |     |                |                                                                                     |          |                                                                                                        |                                 |       |         |
|-----------|-----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
|           |     |                |                                                                                     |          | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ                                                                               |                                 |       |         |
| Зм.       | Арк | № документа    | Підпис                                                                              | Дата     | Дослідження ефективності<br>сепарації краплин в жалюзійних<br>водоуловлювачах<br>охолоджуючих апаратів | Літера                          | Аркуш | Аркушів |
| Розробник |     | Корніяшик В.І. |  | 12.12.22 |                                                                                                        | М                               | 6     | 50      |
| Консульт  |     |                |                                                                                     |          |                                                                                                        |                                 |       |         |
| Керівник  |     | Жевжик О.В.    |  | 12.12.22 |                                                                                                        |                                 |       |         |
| Н.контр   |     | Дьяков В.О.    |  | 19.12.22 |                                                                                                        |                                 |       |         |
| Зав.каф   |     | Босий Д.О.     |  | 19.12.22 |                                                                                                        |                                 |       |         |
|           |     |                |                                                                                     |          |                                                                                                        | МОНУ, УДУНТ, ІСЕ,<br>гр. ТЕ2121 |       |         |

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 50 сторінок, 4 частини, 23 рисунків, 2 таблиці, 3 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – процес інерційного уловлювання краплин в жалюзійному водоуловлювачі.

Предмет дослідження – ефективність уловлювання краплин в жалюзійному водоуловлювачі.

Методи дослідження – теоретичне дослідження на основі розробленої математичної моделі з розв'язком системи рівнянь моделі чисельним методом.

Одержані результати – Розроблена математична модель процесу руху та інерційного осадження краплин у жалюзійному водоуловлювачі для охолоджуючих систем. За допомогою математичної моделі визначено ефективність уловлювання краплин води у жалюзійному водоуловлювачі в залежності від дисперсного складу краплинного потоку та геометричних параметрів чарунки водоуловлювача.

Результати роботи можливо використовувати при проектуванні нових та дослідженні існуючих водоуловлюючих систем жалюзійного типу в охолоджуючих системах, а також у навчальному процесі УДУНТ.

Ключові слова: ЖАЛЮЗІЙНИЙ ВОДОУЛОВЛЮВАЧ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ УЛОВЛЮВАННЯ.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Дослідженню і розробці краплеуловлюючих пристроїв надається велике значення, оскільки ефективністю їхньої роботи значною мірою визначаються вплив охолоджуючих апаратів, зокрема градирень, на навколишнє середовище та витрати на додаткове підживлення рідини.

Особливу небезпеку представляє викликане винесенням води зволоження, а в зимовий період і зледеніння, самих градирень і розташованих поблизу них будівель і території. Зволоженню і зледенінню сприяє також конденсація водяної пари, що відбувається завдяки змішуванню теплого повітря, що виходить з градирні, з більш холодним навколишнім повітрям. Ядрами конденсації при цьому стають краплини, які уносяться.

Краплини, що піднімаються з повітряним потоком утворюються насамперед у зоні водорозподільної системи, де їхня кількість визначається конструктивними особливостями і геометричними розмірами форсунок. За інших рівних умов кількість таких краплин збільшується пропорційно квадратові статичного тиску перед форсунками. Має значення і зрошувальний пристрій градирні, його тип і конструкція. Краплинний зрошувач утворює більші краплини, чим краплинно-плівковий, а останній, у свою чергу, більші, ніж плівковий. Тобто краплинний потік, що піднімається до водоуловлювача, має неоднорідний гранулометричний склад.

Краплини, що піднімаються, умовно можна розділити на великі, середні і дрібні. В залежності від діаметру краплин і, отже від їх маси, механізм сепарації водоуловлюючими пристроями буде різним. Великі краплини (кілька сотень мікронів) уловлюються в основному за рахунок горизонтальних турбулентних пульсацій повітряного потоку й ударів краплин об поверхню елементів водоуловлюючого пристрою. Середні краплини уловлюються завдяки інерційним і відцентровим силам. Дрібні краплини (водяний пил і туман) розмірами в декілька мікрон можуть бути відділені від повітряного

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 7    |

потоків головним чином шляхом «захоплення» дрібними вихровими зонами на поверхні елементів водоуловлюючого пристрою.

При невеликих швидкостях повітря внаслідок малих інерційних сил краплинний потік, утворений дрібнодисперсною форсункою, порівняно погано утримується водоуловлюючим пристроєм.

Таким чином, ефективність роботи інерційних водоуловлюючих пристроїв багато в чому визначається спектром дисперсності краплин в повітряному потоці.

Працююча градирня викидає в атмосферу повітря, насичене водяними парами з крапельками води розміром 100-500 мкм. Фактична ефективність водоуловлювачів згідно опублікованим вітчизняним і закордонним даним коливається в межах 0,001-0,5 %, а для поперечнотечійних градирень з водорозподільником без розбризкування складає 0,0001 %. Таке розмаїття оцінок значень винесення може бути пояснено відмінністю не тільки умов, у яких працюють водоуловлювачі (швидкість повітря, витрата води, конструкція, розміри водоуловлювача і градирні), але і від методів вимірювання краплинного винесення.

Тому створення математичної моделі руху краплин в потоці повітря та їх сепарації у інерційному водоуловлювачі, та проведення на основі її розв'язку дослідження ефективності роботи жалюзійного водоуловлювача градирні є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Робота відповідає науковим напрямкам роботи кафедри «Інтелектуальні системи енергопостачання» Українського державного університету науки і технології.

**Ціль роботи.** Побудувати математичну модель руху краплин в потоці повітря та їх сепарації у інерційному водоуловлювачі, та провести дослідження ефективності роботи жалюзійного водоуловлювача градирні.

Відповідно до поставленої цілі в роботі вирішені наступні завдання:

- складання замкненої системи рівнянь математичної моделі та розв'язання її за допомогою чисельного методу;

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 8    |

- складання програми для ПЕОМ для розрахунку ефективності уловлювання краплин жалюзійним водоуловлювачем і проведення розрахунків з аналізом отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес інерційного уловлювання краплин в жалюзійному водоуловлювачі.

Предмет дослідження – ефективність уловлювання краплин в жалюзійному водоуловлювачі.

Методи дослідження – теоретичне дослідження на основі розробленої математичної моделі з розв'язком системи рівнянь моделі чисельним методом.

**Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист:**

1. Розроблена математична модель процесу руху та інерційного осадження краплин у жалюзійному водоуловлювачі для охолоджуючих систем.

2. За допомогою математичної моделі визначено ефективність уловлювання краплин води у жалюзійному водоуловлювачі в залежності від дисперсного складу краплинного потоку та геометричних параметрів чарунки водоуловлювача.

**Практичне значення отриманих результатів:**

Результати роботи можливо використовувати при проектуванні нових та дослідженні існуючих водоуловлюючих систем жалюзійного типу в охолоджуючих системах, а також у навчальному процесі УДУНТ.

**Особистий внесок здобувача.** Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Здобувачем самостійно проведені розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих під час досліджень результатів, формулювання висновків.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на 9-ій міжнародній науково-практичній конференції "Modern research in world science" (November 28-30, 2022) SPC "Sci-conf.com.ua", Lviv, Ukraine. 2022.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.TE2121.KPM.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 9    |



### Публікації.

Дослідження ефективності сепарації краплин в інерційних водоуловлювачах / Корніяшик В.І., Потапчук І.Ю., Жевжик О.В., Довбишов О.І. // Modern research in world science. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2022. Рр. 496-499.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 10   |

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ КРАПЛІН В ЖАЛЮЗІЙНИХ ВОДОУЛОВЛЮВАЧАХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ ВОДИ

В даний час існує кілька видів водоуловлювачів. Великий досвід по застосуванню водоуловлювачів мається в Англії, де цим питанням почали займатися в 40-х роках. Системи водоуловлювачів у даний час застосовуються в Англії майже у всіх баштових градирнях із природною тягою.

Необхідність її обумовлена, на думку англійських фірм, зменшенням виносу, з погляду як втрат води, так і шкідливого впливу дощу, що випадає на навколишню місцевість.

Скорочення винесення води через верх вежі градирні при установці водоуловлювачів розцінюється в Англії до 0,02 % циркуляційної витрати води. Оптимальним прийнятий водоуловлювач із двох дошок жалюзійного типу, що має високу ефективність, а також має не великий опір потокові повітря.

Працююча градирня викидає в атмосферу повітря, насичене водяними парами з крапельками води розміром 100-500 мкм. Значення краплинного винесення регламентується СНіПом. Вона визначається так само, як втрата води унаслідок винесення вітром (що для градирень не точно) у відсотках від витрати охолоджуваної води. Значення, що допускаються СНіПом винесення залежить від виду охолоджувача і складу забруднень оборотної води. Фактична ефективність водоуловлювачів згідно опублікованим вітчизняним і закордонним даним коливається в межах 0,001-0,5 %. За повідомленнями з Японії це значення для поперечноточних градирень з водорозподільником без розбризкування складає 0,0001 %. Таке розманіття оцінок значення винесення може бути пояснено розходженням не тільки умов, у яких працюють водоуловлювачи (швидкість повітря, витрата води, конструкція і розміри водоуловлювача і градирні), але і від методів вимірювання краплинного винесення.

При зіставленні технологічних характеристик різних водоуловлювачів варто обов'язково звертати увагу на умови і методику іспитів порівнюваних

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 11   |

конструкцій. Ці вимоги порозуміваються різноманіттям існуючих сьогодні методик і приладів для іспитів водоуловлювачів, а також великим впливом на результати таких факторів, як якість монтажу водоуловлювачів, швидкість руху повітря, конструкції водорозподільника і зрошувача, розміри крапель, щільність зрошення.

З цих причин, наприклад, фірма “Євро-Мунтерс” (Німеччина) у каталогах своїх водоуловлювачів (1990 р.) спеціально обмовляє, що приведені в них дані отримані для протитечійних градирень у лабораторних умовах на устаткуванні фірми при ідеальній установці зразків. Вказується швидкість руху повітря 3 і 3,5 м/с і щільність зрошення 15 і 22 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>год) для кожного типу водоуловлювачів.

Щоб у натуральних умовах одержати такі високі показники водоуловлювання (0,007 і 0,001%), як і при лабораторних іспитах, фірма вважає за необхідне дотримання наступних основних вимог:

- ретельне розміщення блоків водоуловлювача так, щоб не було наскрізних щілин між блоками і стінками градирні, а також самими блоками;
- вертикальна складової швидкості руху повітря не повинна перевершувати максимально припустиме значення в жодній точці водоуловлювача по всьому перетину градирні;
- усі виміри характеристик водоуловлювача повинні здійснюватися безпосередньо над водоуловлювачем за методикою фірми або погодженої з нею;
- монтаж і збирання профільних (жалюзійних) водоуловлювачів повинні здійснюватися точно по інструкції.

В Україні дослідженням і розробкою конструкцій водоуловлювачів займаються різні підприємства (Бротеп Еко, Іва). Спочатку вимірювання водоуловлюючої здібності виконувалось об'ємним способом, однак цей спосіб при іспитах повномасштабних зразків водоуловлювачів вимагає великих витрат часу і забезпечує погрішність вимірів лише до 0,01 %, що в даний час не завжди достатньо. Тому були розроблені і задіяні спеціальна методика, що забезпечує

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 12   |

необхідну точність результатів (0,001 %) відповідно до рівня сучасних світових вимог. За цією методикою вимірювання кількості виносимі через водоуловлювач води (у вигляді крапель) визначається кондуктометричним приладом. У цьому приладі краплі води з повітряного потоку, що пройшов через водоуловлювач, осаджуються на електропровідний папір, здатний змінювати свій електричний опір пропорційно кількості осадженої на ньому вологи. За допомогою приладу можна протягом короткого часу (близько 30 с) з достатньою точністю визначити винесення води в будь-якій точці над водоуловлювачем у широких діапазонах швидкості повітря і щільності зрошення. Це дозволяє визначити поле концентрації води в повітрі, докладно досліджувати розподіл винесення над водоуловлювачем і оцінити ефективність самого водоуловлювача.

Усі відомі конструкції водоуловлювачів працюють по одному принципу - осадження крапель за рахунок інерції при відхиленні повітряного потоку при огинанні перешкоди. Як перешкоду використовуються дерев'яні, азбестоцементні або пластмасові планки, лопатки, стільники (канали) різної конфігурації, розташовувані в 1-3 ряди, а також волокна сіток. Різні типи водоуловлювачів відрізняються друг від друга не тільки матеріалом, але і формою зазначених елементів (перешкод) і їхнім розташуванням.

За весь час досліджень розроблені десятки різноманітних конструкцій водоуловлювачів з дерева, металу, азбестоцементу, склопластику, полімерних матеріалів. Найбільш ефективні з них рекомендувалися до застосування.

Довгий час основним типом водоуловлювачів, що використовувалися у вітчизняних градирнях, були дерев'яні жалюзійні. Однак вони задовольняють пред'явленим вимогам тільки при якісному виготовленні і монтажі; мають потребу в спеціальній розкладці блоків і постійному нагляді за станом конструкцій у процесі експлуатації, оскільки в умовах роботи градирень швидко руйнуються і втрачають оптичну щільність, що приводить до різкого збільшення виносу крапель. Крім того, дерево стає усе більш дефіцитним і дорогим матеріалом і вимагає обробки проти гниття. Тому все більша увага

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 13   |

приділяється розробці й освоєнню водоуловлювачів з полімерних матеріалів. Як конструкційний матеріал пластмаси дозволяють значно удосконалити конфігурацію водоуловлювачів і знизити їхню масу, але вимагають при цьому високій технологічності виготовлення. Недотримання цієї вимоги не дозволяє впровадити в промисловість навіть найефективнішу конструкцію пластмасового водоуловлювача.

У той час в угоду технологічності не можна поступатися вимогами, яким повинний відповідати водоуловлювач як елемент, що відповідає своєму призначенню в роботі градирні. Конфігурація водоуловлювача багато в чому визначає характер потоку повітря на вході в конфузори і вході до вентиляторів. Конструкція і розташування лопаток і ґрат водоуловлювача повинні забезпечувати напрямок потоку повітря вертикально нагору до вентиляторів, виконуючи в цьому випадку роботу направляючого апарату. При цьому аеродинамічний опір кращих зразків закордонних водоуловлювачів не перевищує 2,5–3,0 від швидкісного напору. Уловлююча здатність істотно залежить від швидкості повітря  $\omega$  перед ним і щільності зрошення  $q_{жс}$ .

Ця залежність може бути представлена у виді:

$$q_{ун} = 3,44 \cdot 10^{-5} q_{ун.т} q_{жс}^x \omega^y,$$

де  $q_{ун.т}$  – табличні значення  $q_{ун}$  при  $\omega = 2,35$  м/с і  $q_{жс} = 6,2$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).

При нагромадженні й аналізі даних з'ясувалося, що значення  $x$  і  $y$  значно відрізняються для різних конструкцій водоуловлювачів, що легко пояснити великою розмаїтістю структур потоків повітря, а також значень і форм площин для осадження і затримки крапельок. У той же час діапазон швидкостей повітря, у якому працюють водоуловлювачі градирень, не великий: у вентиляторних градирнях він дорівнює 2–3 м/с, причому в типових не перевищує 2,5 м/с; у малогабаритних досягає 4 м/с; у баштових звичайно 0,7–1,3 м/с. Разом з тим конструкції водоуловлювачів не є універсальними для усіх

швидкостей і умов роботи. Так, жалюзійні двоядні водоуловлювачі звичайно малоефективні при швидкостях повітря понад 2,5 м/с і в скошених потоках.

Аналогічним образом це відноситься і до аеродинамічного опору водоуловлювачей. Що стосується щільності зрошення, то на значення краплинного винесення переважно впливає гранулометричний (дисперсний) склад крапель, що знаходиться в потоці повітря, а не щільність зрошення.

Тому раціональніше робити випробування водоуловлювачів у залежності від їхнього призначення не менш чим при трьох швидкостях повітря і досить строгому гідравлічному режимі, зокрема дисперсності, і витраті краплинного потоку, і цими даними користуватися при розрахунку краплинного винесення.

Викладені принципи і закладаються при складанні характеристик сучасних пластмасових водоуловлювачів.

Водоуловлювачі із криволінійним обрисом лопаток (напівхвиль) виготовляється з твердого полівінілхлориду. Пластини-лопатки поставляються споживачам переважно в зв'язаних пакетах по 10-20 штук у комплекті з монтажними і дистанційними трубками. Зборка пластин у блоки водоуловлювача виробляється на місці монтажу градирні відповідно до конструкторської документації. Можливе постачання водоуловлювача готовими блоками, що мають габарити, зазначені споживачем. Характерним є кутовий водоуловлювач з висотою краплеуловлюючої пластини (кутника) 187 мм і довжиною – 1,6 м. Виготовлено він із ПВХ і склопластику.

Трапецієподібний водоуловлювач складається з профільованих пластин, з'єднаних у блоки за допомогою полімерних трубок і дистанційних гільз між пластинами.

Робочі елементи чарункового водоуловлювача мають у вертикальному перерізі висоту 160 мм криволінійний обрис, що нагадує хвилю, а по довжині – вид звивистої лінії з плоскими вершинами і западинами. Така форма робочих елементів дозволяє створити чарункову конструкцію водоуловлювача. Для додання вихідному з водоуловлювача потокові повітря

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 15   |



вертикального напрямку і зручності монтажу робочі елементи мають зверху і знизу плоскі ділянки.

Робочі елементи чарункового водоуловлювача виготовляють з вініпластової каландрированої плівки товщиною 0,4-1,1 мм. Ця плівка застосовується як антикорозійний матеріал, стійка до кислот і лугів, використовується для виготовлення виробів технічного призначення. Матеріал не горить і не підтримує горіння. Температурний діапазон експлуатації плівки від -50 до +60 °С. Скріплення робочих елементів водоуловлювача між собою і зборка їх у блоки виробляється за допомогою фіксуючих елементів – пластмасових трубок, розвальцьованих по кінцях. Фіксуєючий елемент – трубка товстостінна Ø10-20 мм із ПВХ. Матеріал трубок не горить при відсутності ініціюючого полум'я і призначений для виготовлення виробів, що працюють в агресивних середовищах. Температурний діапазон їхньої експлуатації від -50 до +60 °С. Матеріали, з яких виготовлений водоуловлювачі, в умовах монтажу й експлуатації не виділяють у навколишнє середовище токсичних речовин і не роблять шкідливого впливу на організм людини.

Досить перспективні водоуловлювачі стільникової конструкції. Вони можуть бути виготовлені зі стеклотканини ПНД або ВПХ у виді монолітних блоків розмірами 1,5×1×0,25 м з каналами прямолінійного обрису у вертикальній площині. Вид водоуловлювача зверху являє собою шестигранні стільники.

Гратчастий водоуловлювач збирається з трьох-п'яти шарів призм ПР50. З призм можуть бути зібрані водоуловлювачі різної висоти для забезпечення необхідного ступеня водоуловлювання. Збірка водоуловлювачів здійснюється простим укладанням елементів ПР50 на несущі балки при повороті кожного наступного ряду елементів на 90° відносно попередній. Це особливо зручно для малих градирень із площею зрошення до 64 м<sup>2</sup>. Для установки у великих градирнях водоуловлювач із ПР50 може бути зібраний у

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 16   |

виді блоку необхідних розмірів. Водоуловлювач застосовується переважно в поєднанні зі зрошувачем з таких же призм ПР50.

Призми ПР50 виготовляються зі стабілізованого сажею поліетилену низького тиску на базі марки 273-79. Цей матеріал не змінює свої фізико-механічні властивості при експлуатації градирень у зимовий період з температурою зовнішнього повітря до  $-60^{\circ}\text{C}$  та в літній період при температурі повітря в градирні до  $50^{\circ}\text{C}$ .

Водоуловлювачі з профільованих поліетиленових пластин виготовляють у виді блоків. Пластини виконані у виді рівносторонньої трапеції в поперечному перерізі з вертикальними гофрами. Розміри блоку дорівнюють  $1 \times 1,6$ .

Принципові схеми водоуловлювачів з різних матеріалів найбільш характерних типів з числа застосовуваних у нас у країні і за кордоном показані на рис. 1.1 [1]. Конструкції (а), (б) і (в) (див. рис.1) широко поширені в нашій країні і за кордоном.

Конструкція (г) являє собою два шари зрошувача з полівінілхлориду, поставлені один на іншій зі зміщенням на 1 лист, щоб організувати поворот потоку, що йде уздовж балок хвиль. Висота кожного шару 125 мм. Таким чином, висота цього водоуловлювача складає 250 мм. Використання конструкцій пластмасового зрошувача в ролі водоуловлювача знаходить досить широке застосування.

Конструкція (д) являє собою чарунковий водоуловлювач з пористого шорсткуватого ударостійкого полістиролу. Він забезпечує значення віднесення краплин при швидкостях руху повітря 2,5 і 3,2 м/с менш 0,001 % при коефіцієнті опору  $\xi=4,1$ . Стільниковий водоуловлювач (е) по водоуловлюваючій здатності відповідає рівневі жалюзійного дерев'яного водоуловлювача при  $d=50$  мм (а) і азбестоцементного з хвилястих листів (в), що можна цілком вважати задовільним. Однак у порівнянні з чарунковими водоуловлювачами (г) і (д) показник винесення краплин в нього гірше в 1,5-2 рази, а аеродинамічний опір у 2-3 рази вище.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 17   |

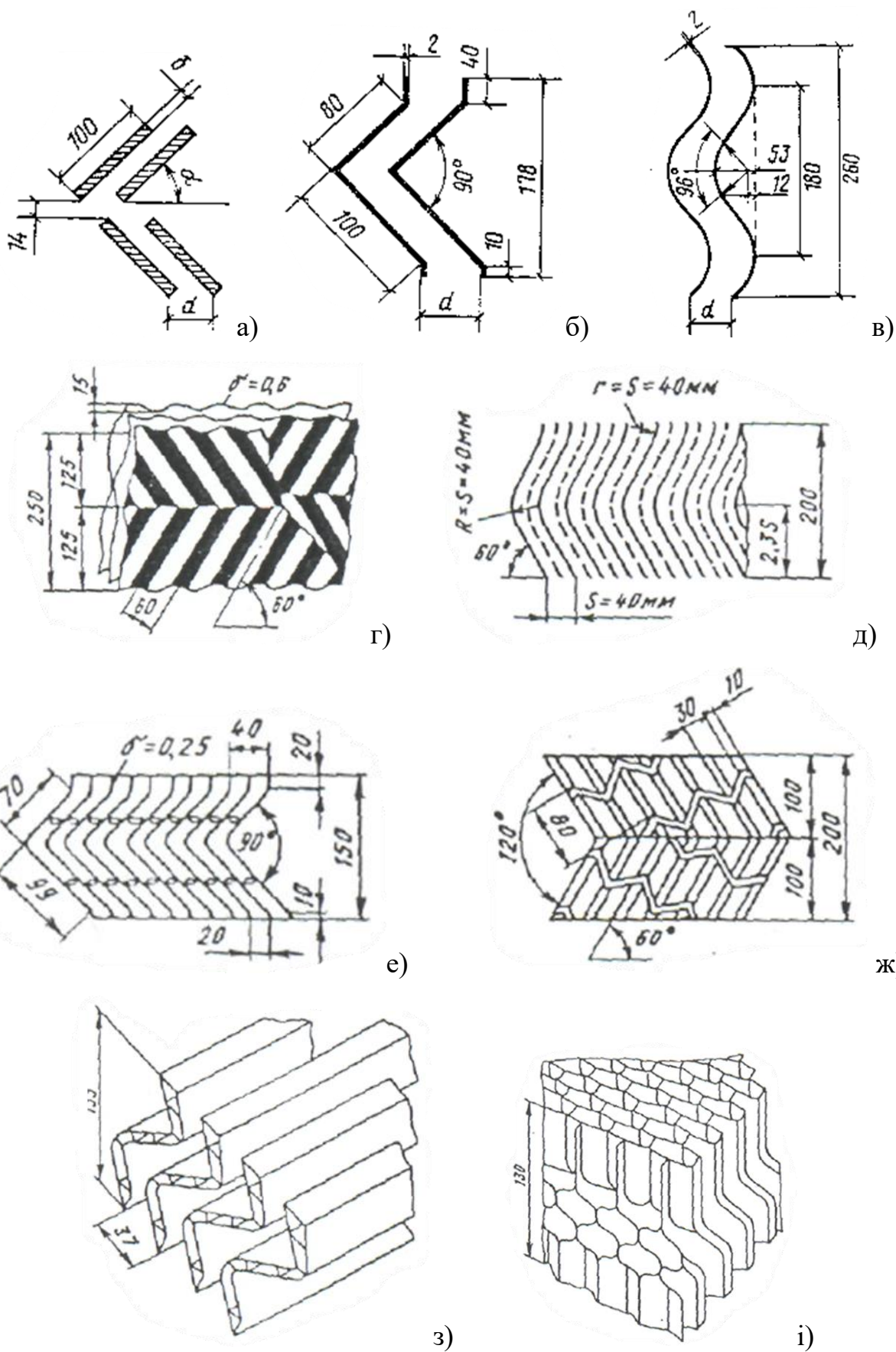


Рисунок 1.1 – Схеми водоуловлювачів

Ніздрювато-жалюзійний водоуловлювач (ж), що збирається з листів з V-подібними турбулізаторами, має гарну водоуловлюваючу здатність і аеродинамічний опір його в 2 рази менше, ніж у водоуловлювача (е).

Водоуловлювачи (з) та (і) мають високу водоуловлюючу здатність і призначені для роботи в градирнях з підвищеними швидкостями повітря. Їх характеристики прийняті по каталогу фірми Мунтерс.

При виборі водоуловлювача в конкретному випадку необхідно враховувати, що кожному з них властиві свої переваги і недоліки. Вони розрізняються матеріалом, схемою зборки блоків і механічною міцністю, а також значеннями аеродинамічного опору повітря.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 19   |

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КРАПЛИН У ПОТОЦІ ПОВІТРЯ

### 2.1 Фізичне уявлення

Розпилювальна градирня (рис. 2.1) має в своєму складі витяжну башту 1, водорозподільник з розпилювачами 2, повітрявхідні вікна 3, водозбірний басейн 4, дифузор 5, вирівнювальну перегородку 6. В розпилювальній вентиляторній градирні в башті над водорозподільником розміщений водоуловлювач 7.

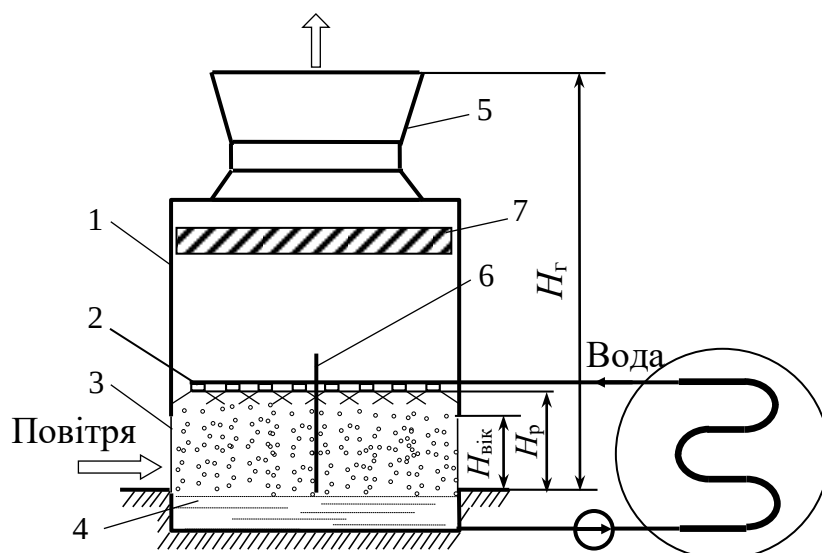


Рисунок 2.1 – Схема розпилювальної градирня

Нагріта вода подається в башту 1 по водорозподільнику до розпилювачів 2. Дрібнодисперсний краплинний потік води, рухаючись вниз, між розпилювачами і водозбірним басейном охолоджується в зустрічному потоці атмосферного повітря, яке всмоктується в башту через повітрявхідні вікна 3. Охолоджена вода збирається у водозбірному басейні 4 і подається споживачу, а нагріте вологе повітря разом з дрібними краплями води проходить через жалюзійний водоуловлювач 7, де краплі сепаруються на його стінки і стікають у басейн, через дифузор 5 виходить в атмосферу.

## 2.2 Припущення в математичній моделі

Необхідність припущень обумовлена особливостями створення краплинного потоку за допомогою розпилювачів. Факел розпиленої води рис. 2.2 має плівку 1, яка рухається з обертанням навколо осі соплового отвору розпилювача 2, та краплинний потік 3 після подрібнення плівки на відстані  $h_{\pi}$  від розпилювачів.

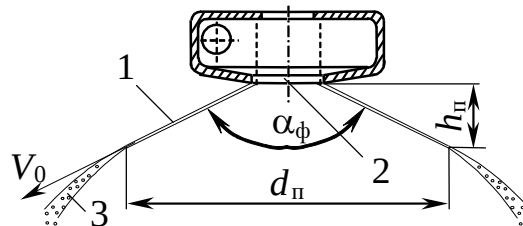


Рисунок 2.2 – Факел розпиленої води

Розподіл краплин приймаємо рівномірним по поперечному перерізу башти перед водоуловлювачем. Досягнення рівномірності є базовою вимогою для проектування водорозподільника та розпилювача. Рівномірність визначає досконалість апарату.

Об'ємна концентрація води в градирні  $\beta_k < 0,02$ . Це дозволяє вважати, що краплини не взаємодіють між собою [2] і визначати траєкторії руху краплин у краплинному потоці як незалежні. Наприклад, при щільності зрошення  $q_{жс} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{год})$  і середній швидкості краплин  $V_z = 5 \text{ м/с}$ :

$$\beta_k = \frac{q_{жс}}{V_z} = \frac{10}{3600 \cdot 5} \approx 5,56 \cdot 10^{-4} \quad (2.1)$$

Краплина води замінюється кулею. Зміна форми кулі і, як наслідок, площі поверхні і коефіцієнта аеродинамічного опору враховується за допомогою коефіцієнта форми:

$$\psi = \frac{S_d \cdot C_d}{S_k \cdot C_k}, \quad (2.2)$$

де  $C_d, C_k$  – коефіцієнти аеродинамічного опору деформованої краплини і кулі;

$S_d, S_k$  – площа їх поверхні відповідно.

### 2.3 Рівняння руху та тепломасообміну краплин

Рух краплини обумовлений дією на неї сили тяжіння та аеродинамічного опору повітря (рис. 2.3).

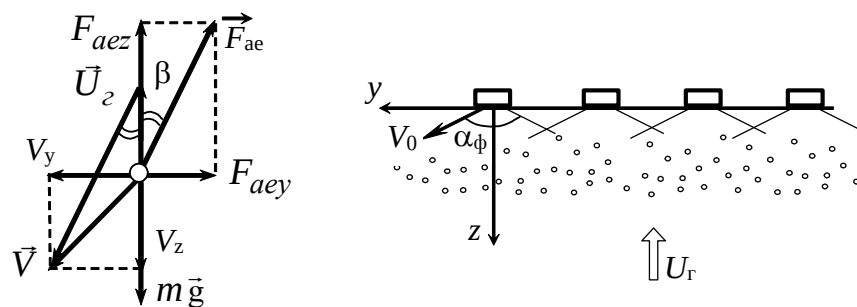


Рисунок 2.3 – Схема взаємодії краплин з повітрям

Рівняння руху центра мас кулі в повітрі у полі сили тяжіння:

$$\frac{d(m\vec{V})}{d\tau} = -\vec{F}_{ae} + m\vec{g},$$

$$\frac{d\vec{X}}{d\tau} = \vec{V},$$

де  $m = \frac{1}{6}\pi d^3 \rho$  - маса краплини;

$\vec{V} = \{V_y, V_z\}$  - вектор швидкості краплини;

$\vec{X} = \{y, z\}$  - радіус-вектор центра мас краплини;

$d$  - діаметр краплини;

$\tau$  - час.

Сила аеродинамічного опору:

$$\vec{F}_{\text{ае}} = -C_{\text{к}} \Psi \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho_{\text{в.н}}}{2} \frac{|\vec{V} - \vec{U}|}{2} \left( \frac{\vec{V} - \vec{U}}{|\vec{V} - \vec{U}|} \right),$$

де  $\vec{U} = \{0, U_z\}$  – вектор швидкості повітря в градирні ( $U_z = -U_{\Gamma}$  для протитечійної градирні і  $U_z = U_{\Gamma}$  для прямооточної).

Коефіцієнт аеродинамічного опору кулі:

$$C_{\text{к}} = \frac{24}{Re} + \frac{4,4}{\sqrt{Re}} + 0,32,$$

яка справедлива при числах Рейнольдса  $Re = \frac{\rho_{\text{в.н.}} d |\vec{V} - \vec{U}|}{\mu_{\text{в.н.}}}$  в діапазоні  $10^{-3} \leq Re \leq 6 \cdot 10^3$ .

Коефіцієнт форми краплини визначали в залежності від числа Вебера:

$$\Psi = \exp(0,03 \cdot We^{1,5}),$$

де  $We = \frac{\rho_{\text{в.н.}} d |\vec{V} - \vec{U}|^2}{\sigma}$  – число Вебера;

$\sigma$  – поверхневий натяг води.

Оскільки маса краплини внаслідок випаровування змінюється не більше чим на 1÷2 %, то в рівнянні руху вона приймалась сталою і була винесена за знак диференціалу.

У проекціях на осі координат рівняння мають такий вигляд:

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 23   |



$$\frac{dV_y}{d\tau} = \frac{F_{ae}}{m} + g,$$

$$\frac{dV_z}{d\tau} = -\frac{C_k \cdot \psi \pi d \rho_{e.n.} |\vec{Y} - \vec{U}| (Y - U)}{8} \cdot \frac{6}{\pi d^3 \cdot \rho_{ж}} + g,$$

$$\frac{dV_y}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_k \cdot \psi}{d} \cdot \frac{\rho_{e.n.}}{\rho} \cdot V_y \cdot |\vec{V} - \vec{U}|,$$

$$\frac{dV_z}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_k \cdot \psi}{d} \cdot \frac{\rho_{e.n.}}{\rho} \cdot (V_z - U_z) \cdot |\vec{V} - \vec{U}| + g,$$

$$\frac{dy}{d\tau} = V_y,$$

$$\frac{dz}{d\tau} = V_z,$$

Граничними умовами до системи рівнянь були відомі початкові координати та швидкості крапель на вході у водоуловлювач.

### 3 ДИСПЕРСНІСТЬ РОЗПИЛЮВАННЯ

Найбільш проста характеристика групи крапель з різними діаметрами – це сума діаметрів усіх часток, поділена на їхнє сумарне число. Ця величина називається середнім діаметром крапель. Медіанний діаметр часток може бути визначений шляхом запису діаметрів усіх крапель у порядку їхнього зростання і знаходження такого діаметра, що поділяє отриманий ряд навпіл. Хоча такі оцінки розподілу крапель по розмірах досить прості, ні середній, ні медіанний діаметри самі по собі не дають достатньої інформації про нього. Додаткові відомості дає встановлення того, наскільки добре середня або медіанна величина представляє всі краплі в аерозолі. На практиці аерозолі звичайно описуються деякою середньою величиною, причому розподіл краплин по розмірам цілком ігнорується. Така оцінка розмірів краплин аерозоля є дуже неточною.

Крім визначення середньої і медіанної величин, розподіл краплин по розмірам може бути представлено у виді гістограм або лінійних діаграм. Графіки такого типу дають наочне представлення про розподіл краплин по розмірах.

У випадку атмосферних аерозолей один інтервал розмірів краплин може охоплювати числа, що розрізняються на кілька порядків величини. У таких випадках звичайна гістограма не буде давати необхідних відомостей про розподіл, тому що на тлі великого числа дрібних крапель розподіл більш великих цілком спотвориться. Цей розподіл необхідно знати у додатках, де істотну роль грає маса або поверхня крапель. Існують різні способи більш наочного представлення розподілу великих крапель по розмірах. Один з них полягає в тому, що на осі абсцис відкладають логарифми діаметрів крапель. Це дозволяє представити розподіл по розмірах так, що можна спостерігати більш широкий діапазон розмірів діаметрів. Однак масштаб на осі ординат повинний бути змінений таким чином, щоб сума площі усіх прямокутників, що утворюють гістограму, була пропорційна загальній кількості присутніх крапель. Це досягається шляхом розподілу числа крапель у кожному інтервалі на різницю логарифмів найбільшого і найменшого розмірів крапель для даного інтервалу. Ця

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 25   |

величина визначається для кожного інтервалу розмірів. Подібний вираз може бути написаний для площі поверхні крапель, їхньої маси або об'єму (через формулу  $m = \rho V$  розподіл по масі може бути приведений до розподілу по об'єму і навпаки).

Диференційну та інтегральну функції розподілення маси краплин зручно представити у вигляді

$$VD = \frac{2}{3\pi} \alpha^4 d^3 K_1(\alpha d),$$

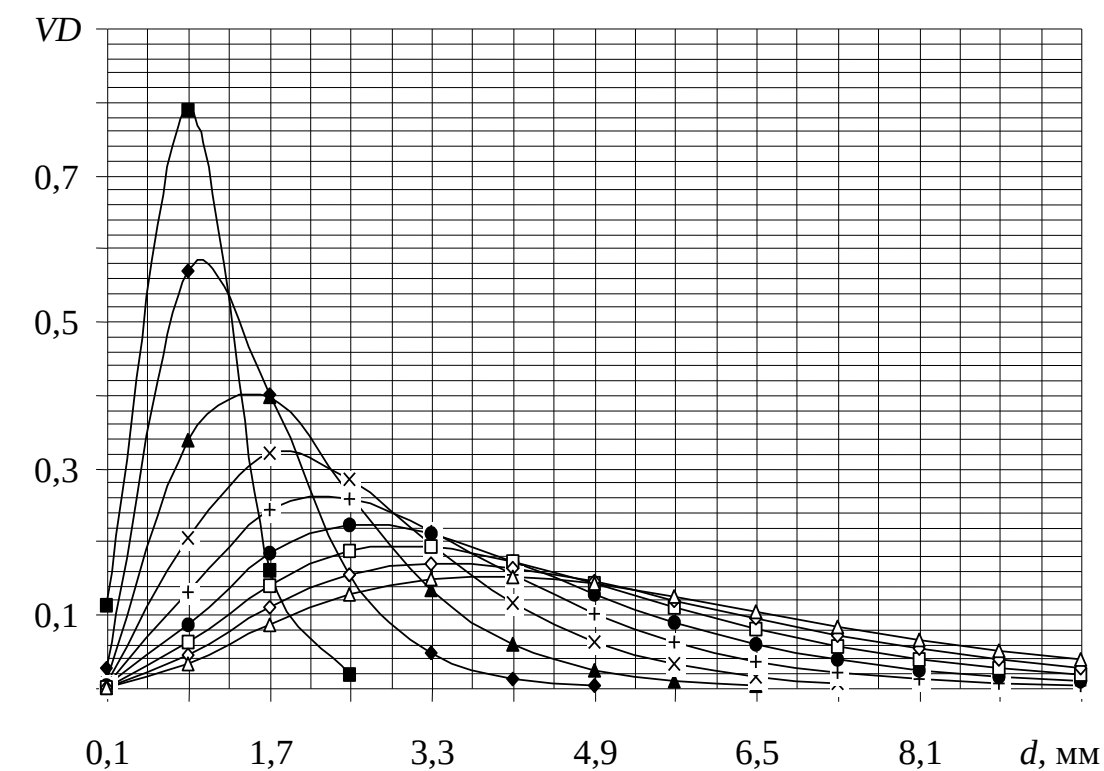
$$V = \frac{2\alpha^4}{3\pi} \int_{d_{min}}^{\infty} d^3 K_1(\alpha d) dd,$$

де  $K_1(d)$  – функція Беселя;

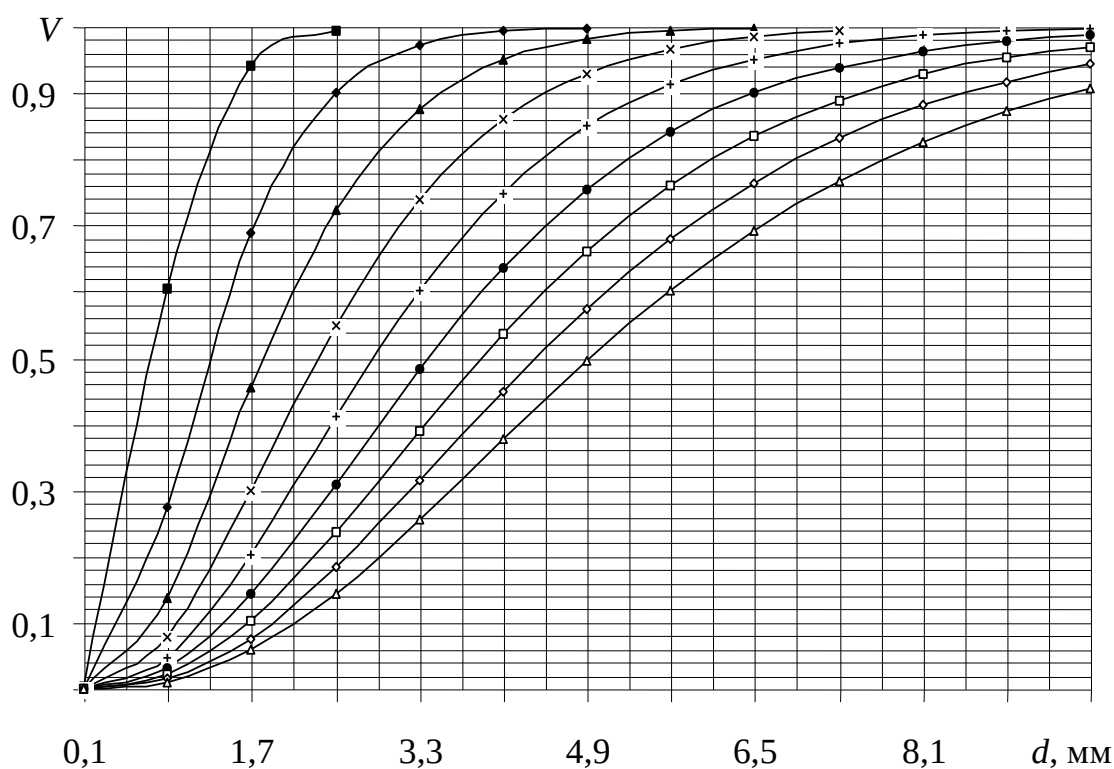
$$\alpha = \frac{3\pi}{4d_{32}} \text{ – параметр;}$$

$d_{32}$  – середній об'ємно-поверхневий діаметр краплинного потоку (діаметр по Заутеру).

На рис. 3.1 представлені результати розрахунків  $VD$  і  $V$  для розпилювачів в залежності від  $d_{32}$ .



a)



б)

$d_{32}$ , мм: ■ 0,6 ; ♦ 1,0; ▲ 1,4; × 1,8; + 2,2; • 2,6; □ 3,0; ◇ 3,4; △ 3,8;

Рисунок 3.1 – Диференційна а) та інтегральна б) характеристики краплинного потоку при

#### 4 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

На рис. 4.1-4.18 наведено розрахункові трєєкторії руху краплин у жалюзійному водоуловлювачі, параметри розрахунків (швидкість потоку повітря  $U$ , розрахунковий діаметр краплин  $d$ ) наведено в таблиці 4.1, для всіх розрахунків  $L=50$  мм,  $S=15$  мм,  $h_1=77,5$  мм,  $h_2=10$  мм.

Таблиця 4.1 – Параметри водоуловлювачів для рис. 4.1–4.18.

| № рисунку | Параметри розрахунку   | Ефективність, % |
|-----------|------------------------|-----------------|
| 4.1       | $U=1$ м/с, $d=25$ мкм  | 4               |
| 4.2       | $U=1$ м/с, $d=50$ мкм  | 12              |
| 4.3       | $U=1$ м/с, $d=75$ мкм  | 22              |
| 4.4       | $U=1$ м/с, $d=100$ мкм | 18              |
| 4.5       | $U=1$ м/с, $d=125$ мкм | 34              |
| 4.6       | $U=1$ м/с, $d=150$ мкм | 62              |
| 4.7       | $U=2$ м/с, $d=25$ мкм  | 6               |
| 4.8       | $U=2$ м/с, $d=50$ мкм  | 24              |
| 4.9       | $U=2$ м/с, $d=75$ мкм  | 40              |
| 4.10      | $U=2$ м/с, $d=100$ мкм | 50              |
| 4.11      | $U=2$ м/с, $d=125$ мкм | 62              |
| 4.12      | $U=2$ м/с, $d=150$ мкм | 68              |
| 4.13      | $U=3$ м/с, $d=25$ мкм  | 10              |
| 4.14      | $U=3$ м/с, $d=50$ мкм  | 38              |
| 4.15      | $U=3$ м/с, $d=75$ мкм  | 52              |
| 4.16      | $U=3$ м/с, $d=100$ мкм | 66              |
| 4.17      | $U=3$ м/с, $d=125$ мкм | 78              |
| 4.18      | $U=3$ м/с, $d=150$ мкм | 84              |

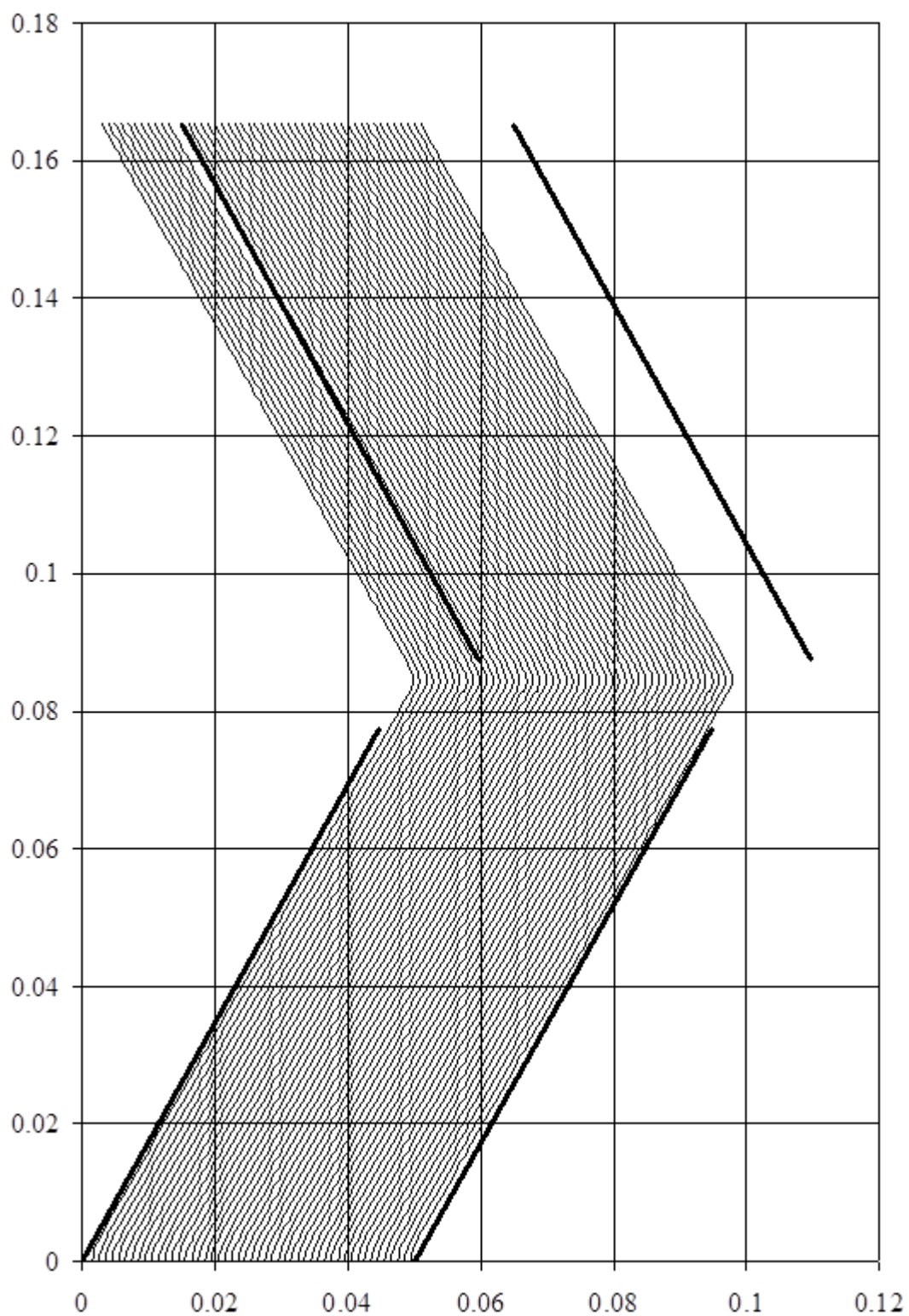


Рисунок 4.1 – Треєкторії краплин у водоувловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

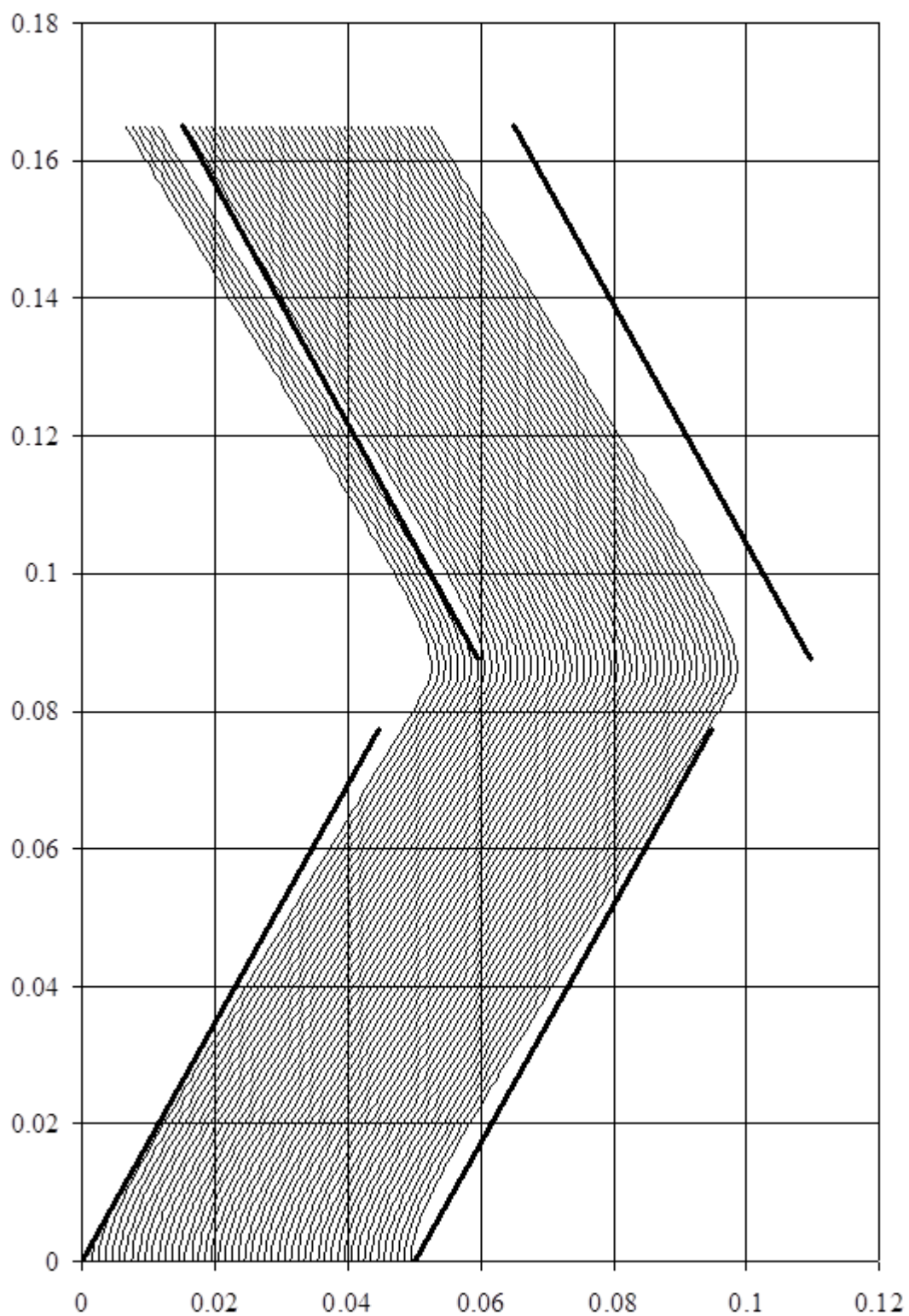


Рисунок 4.2 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

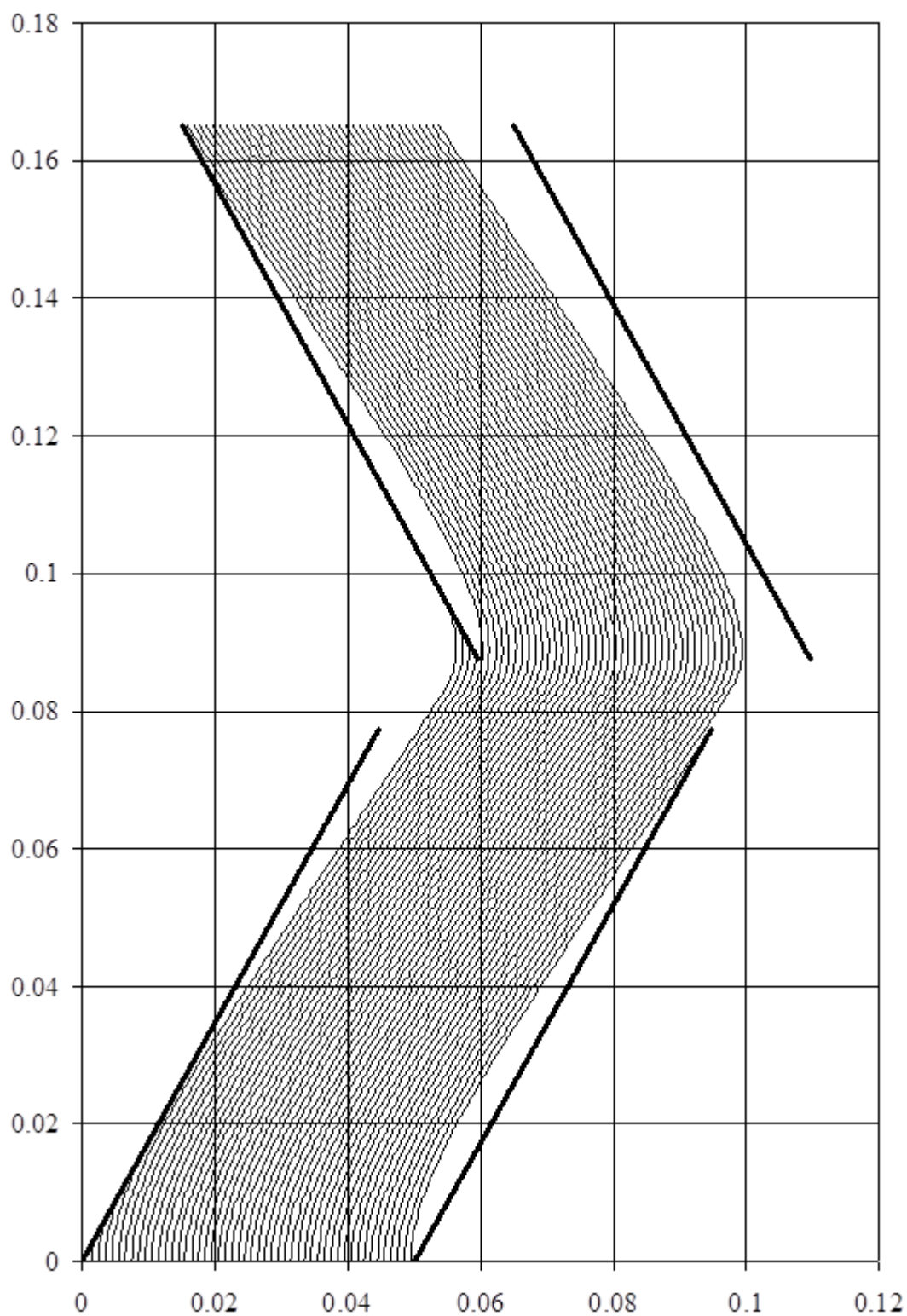


Рисунок 4.3 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)



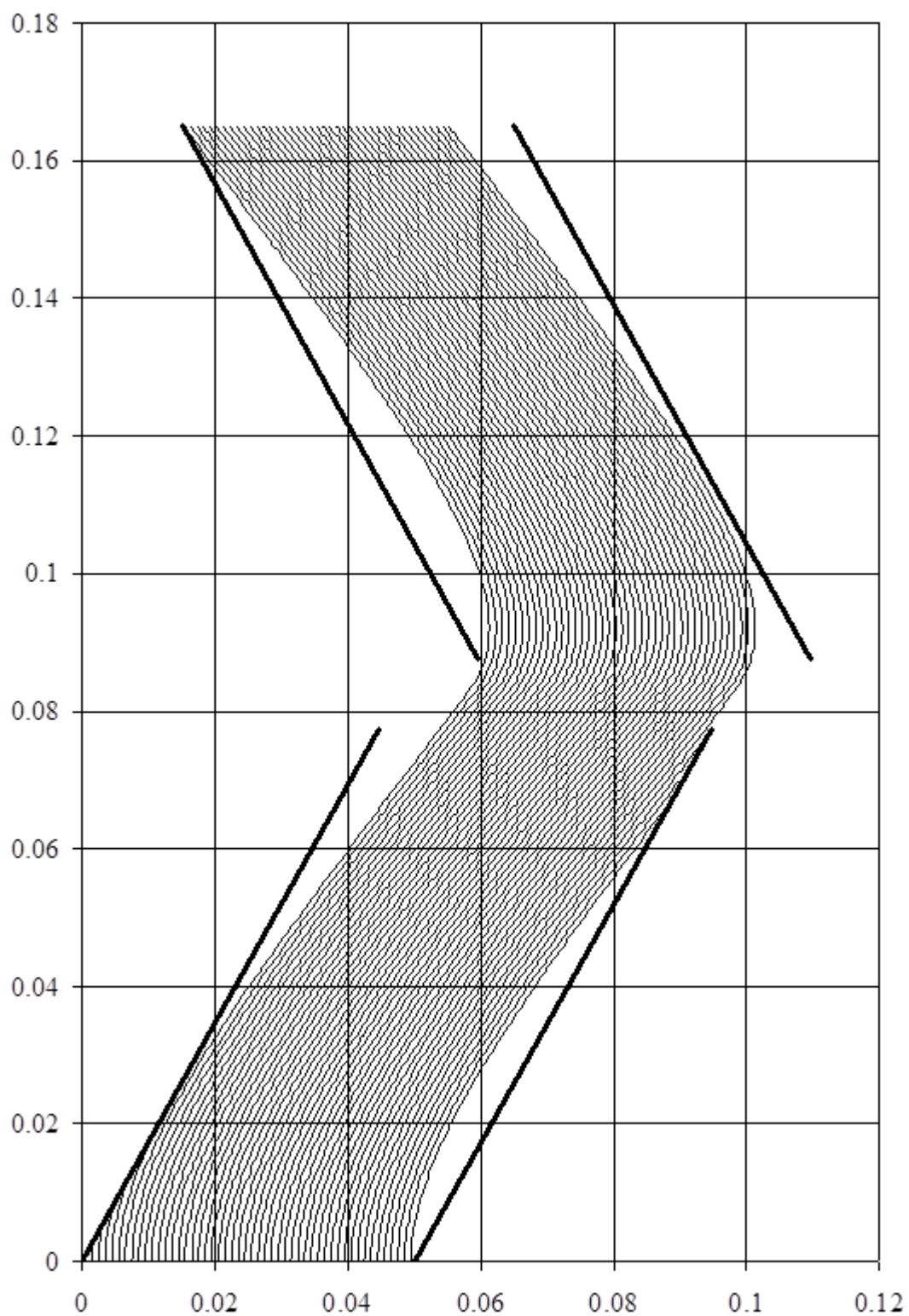


Рисунок 4.4 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

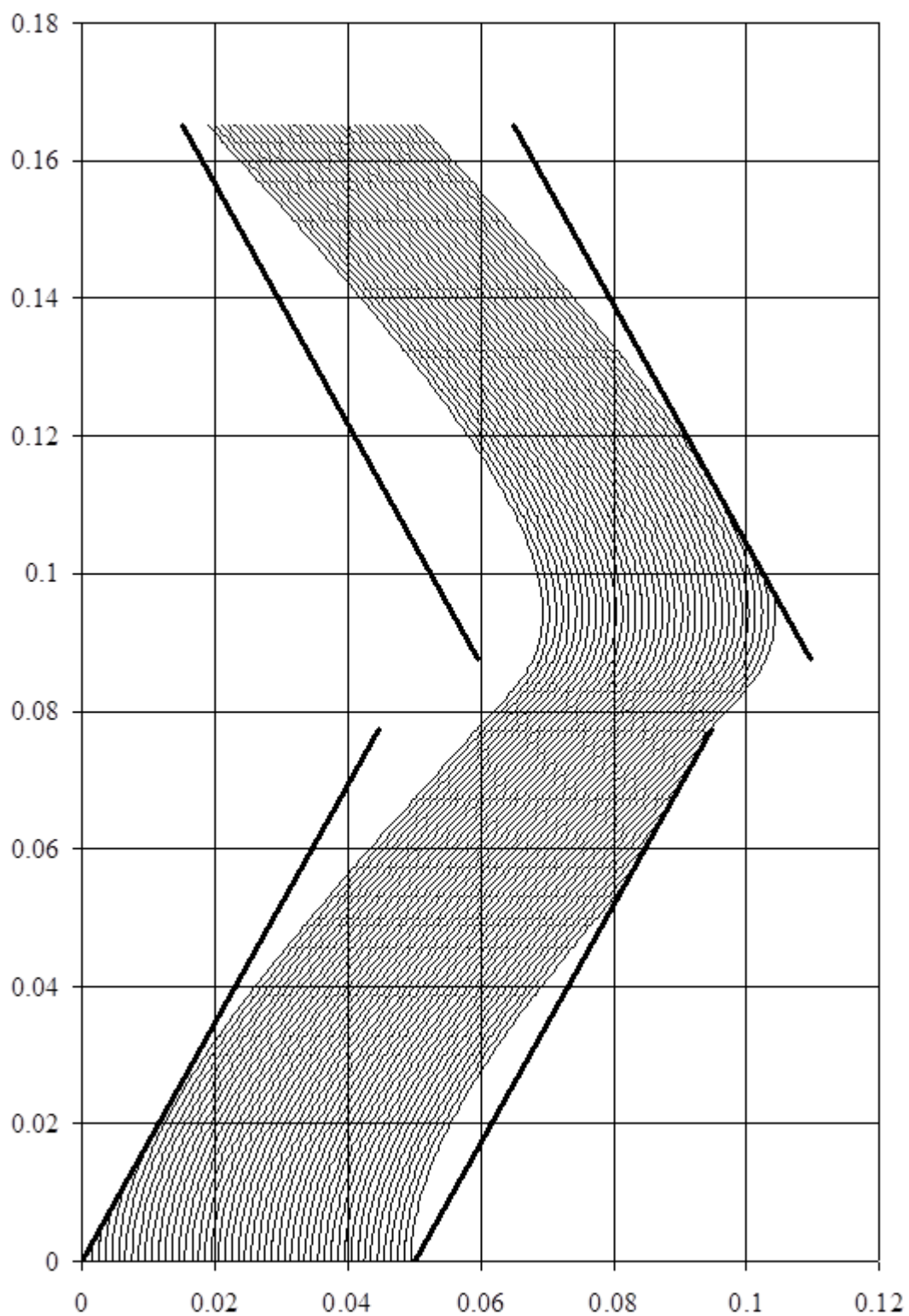


Рисунок 4.5 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

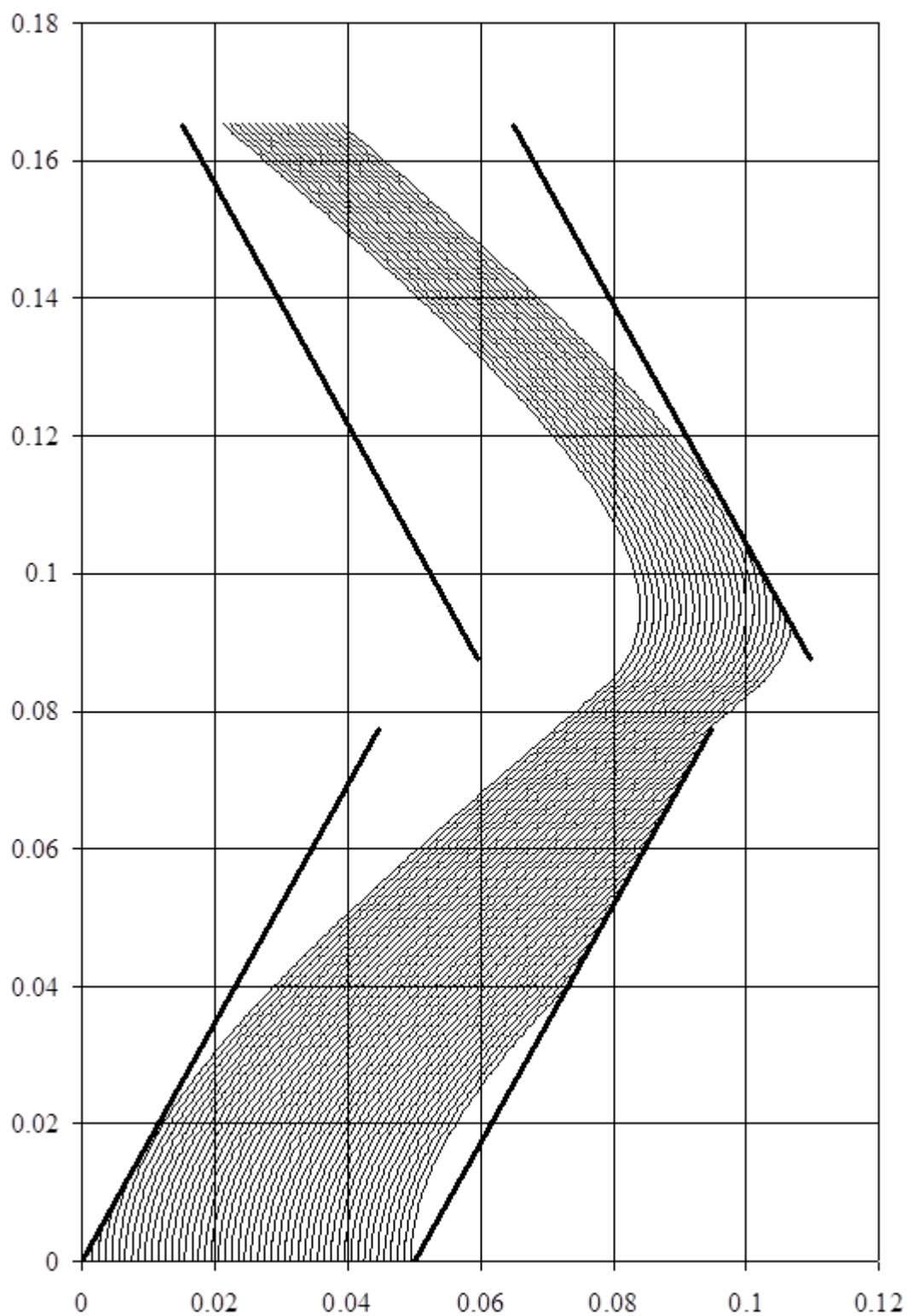


Рисунок 4.6 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

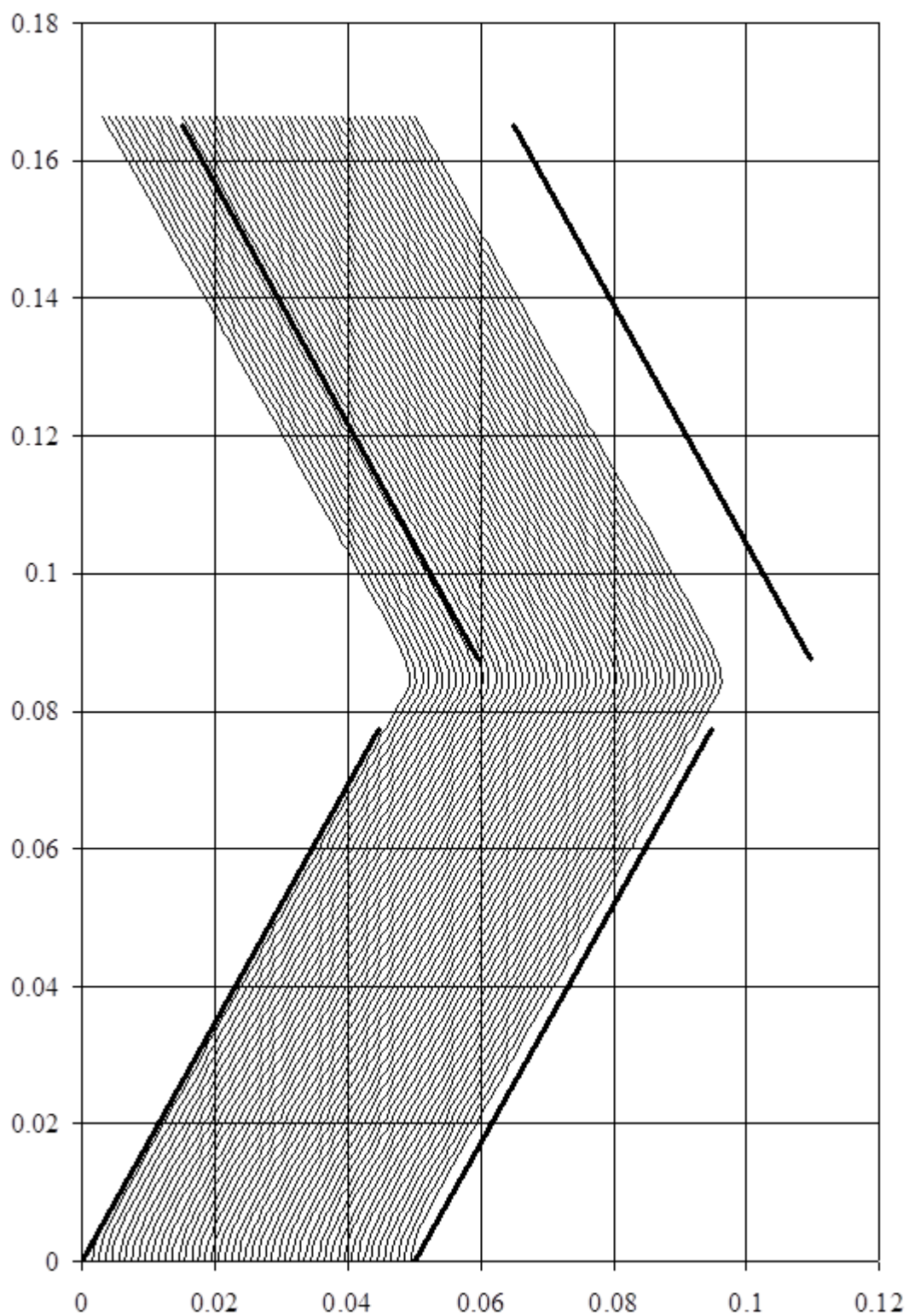


Рисунок 4.7 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

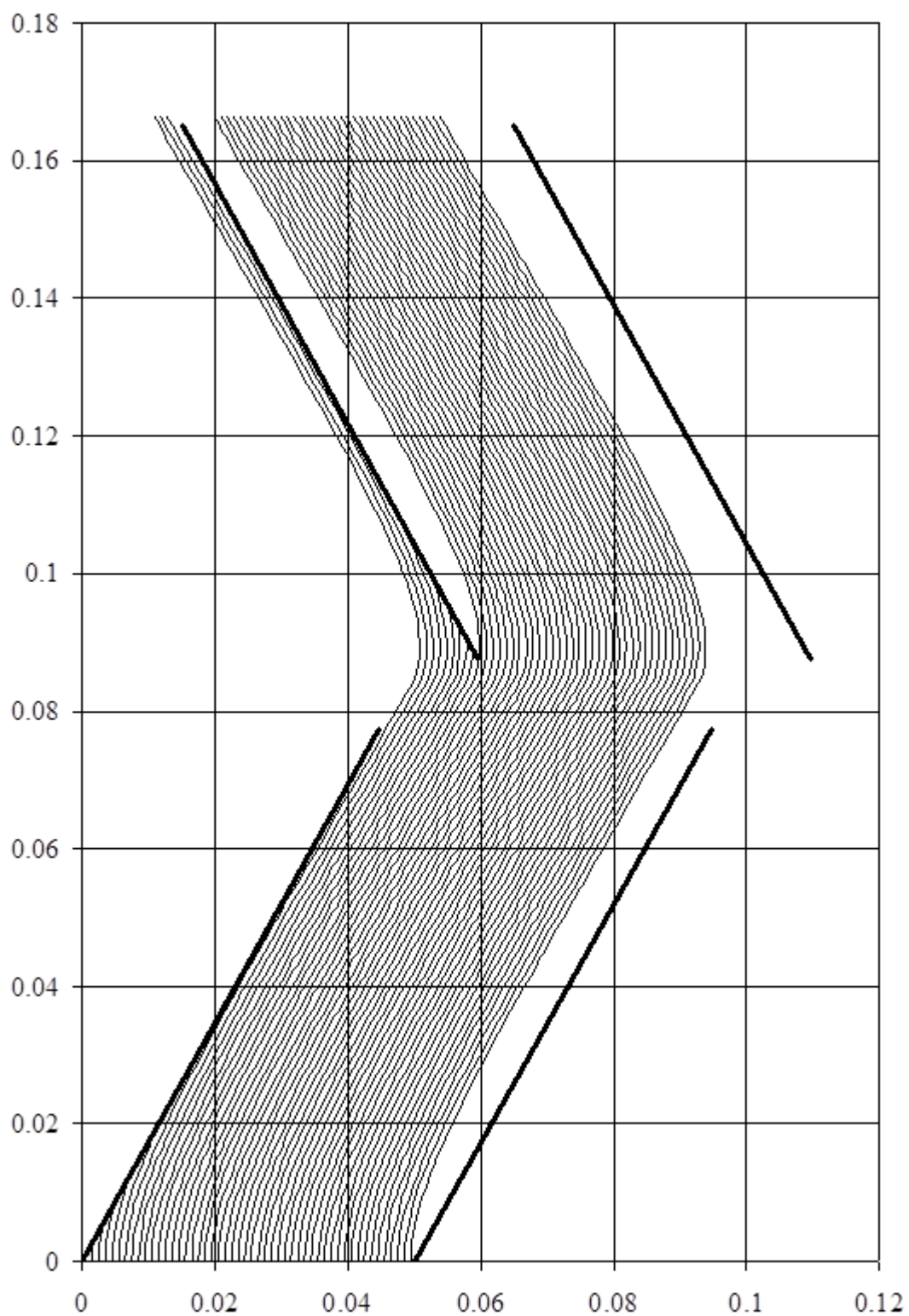


Рисунок 4.8 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

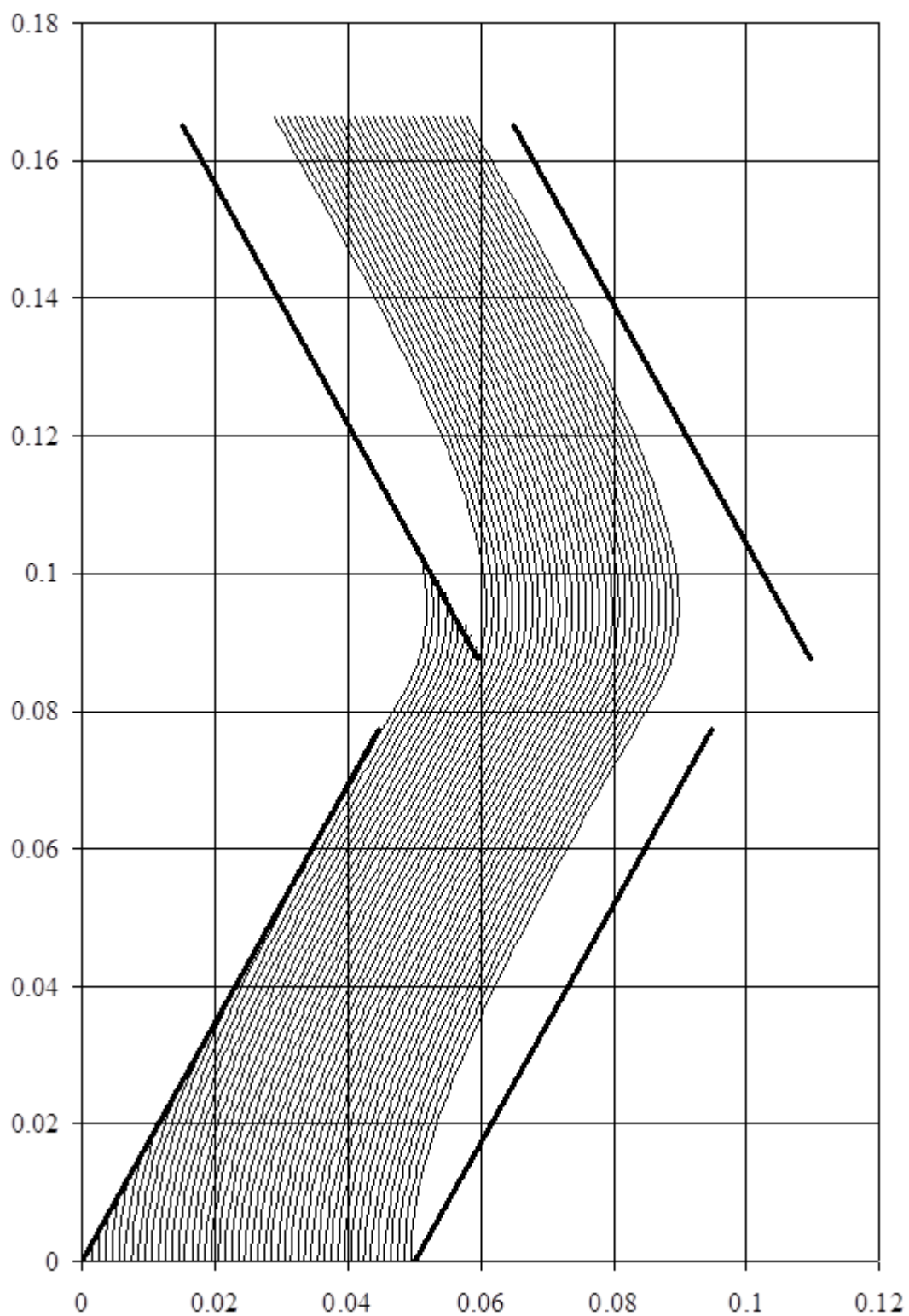


Рисунок 4.9 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

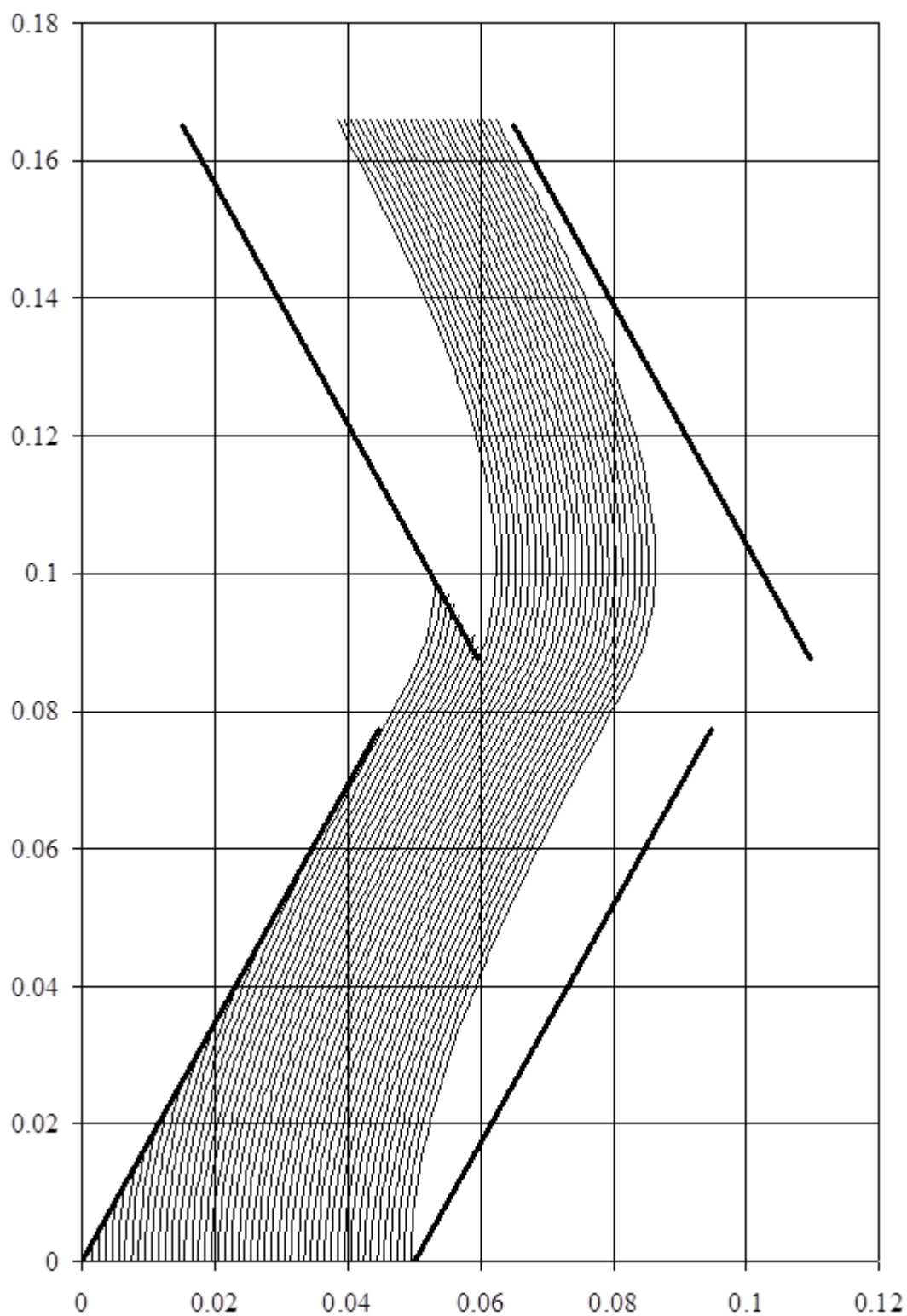


Рисунок 4.10 – Трескторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

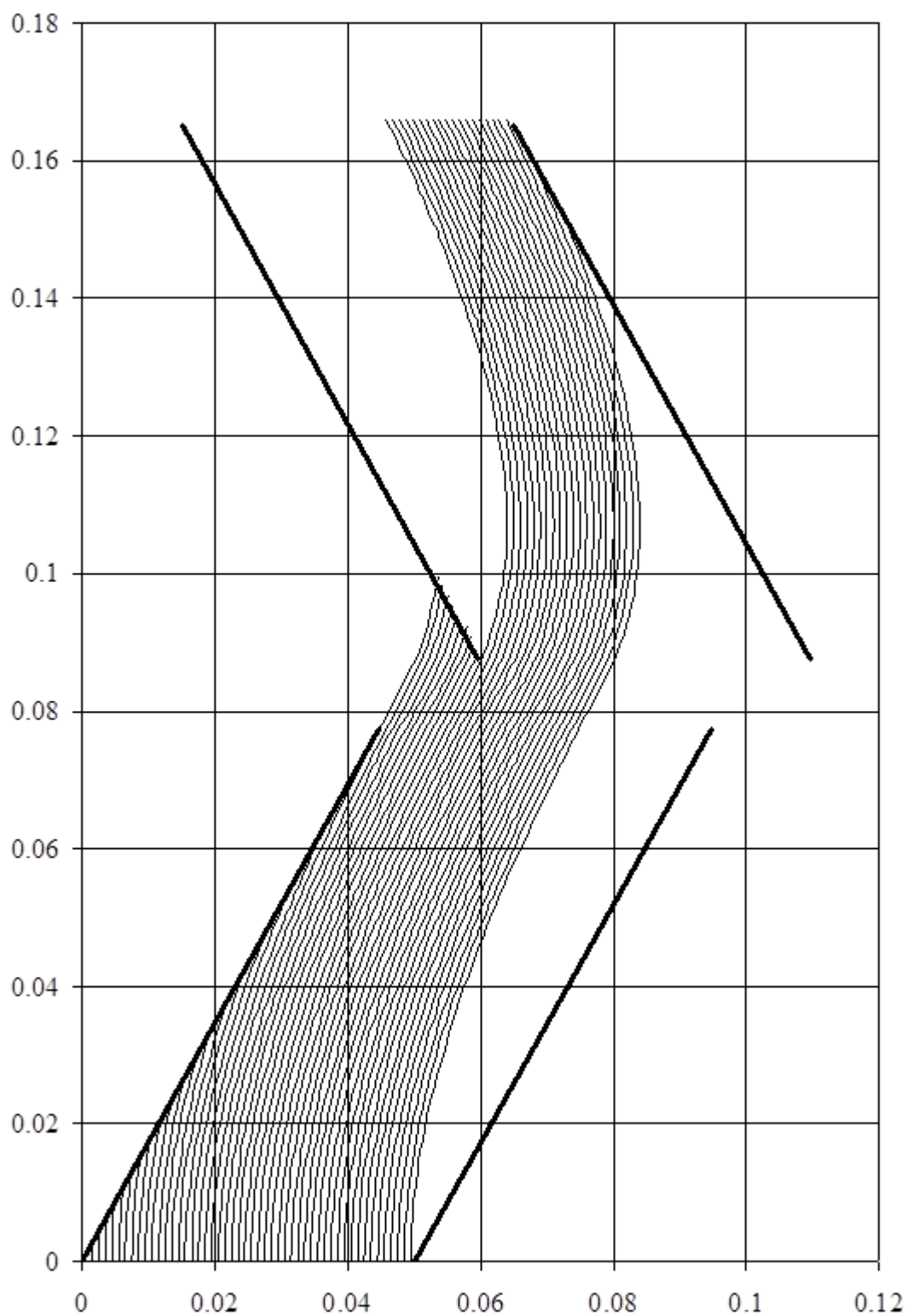


Рисунок 4.11 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)



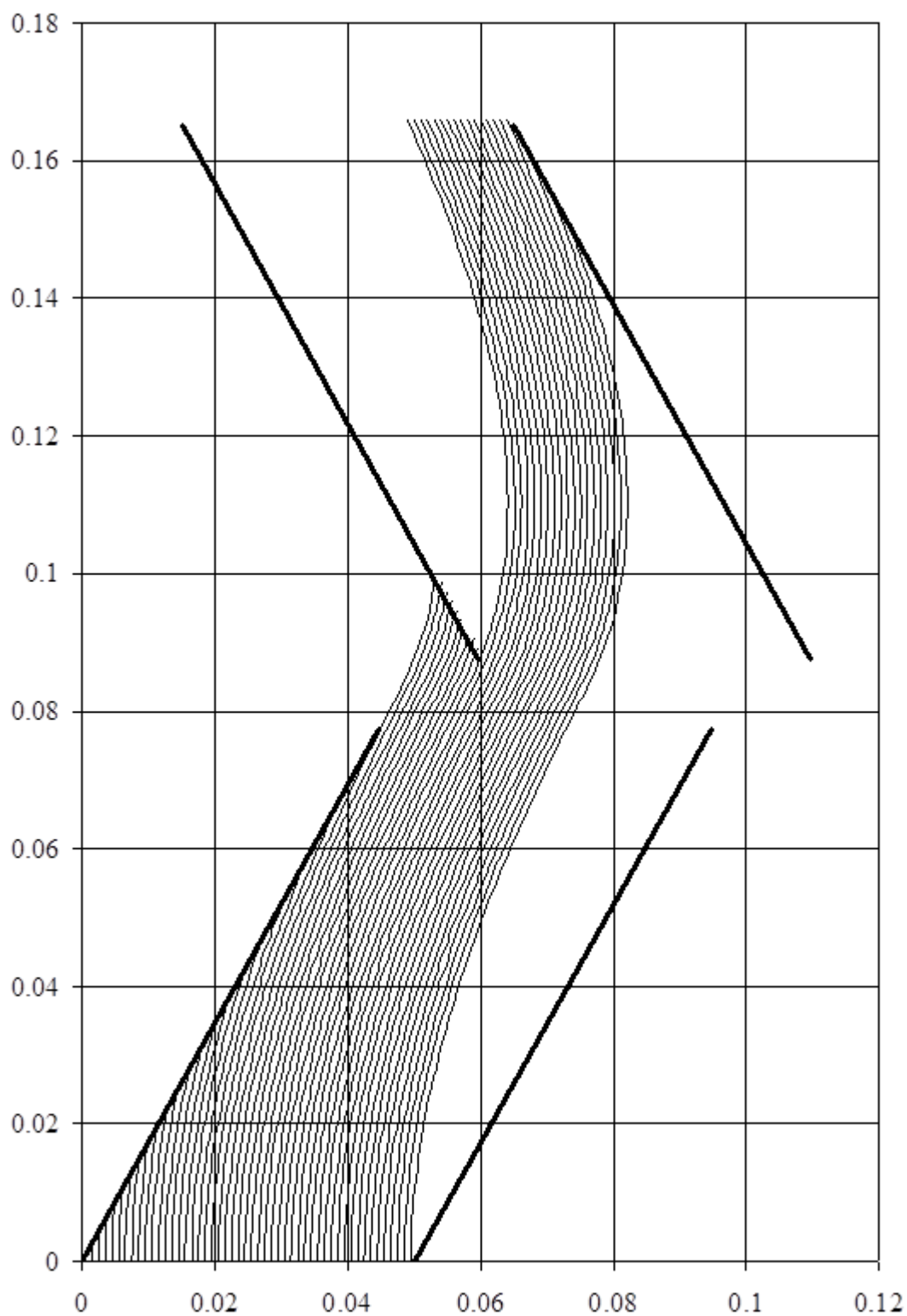


Рисунок 4.12 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

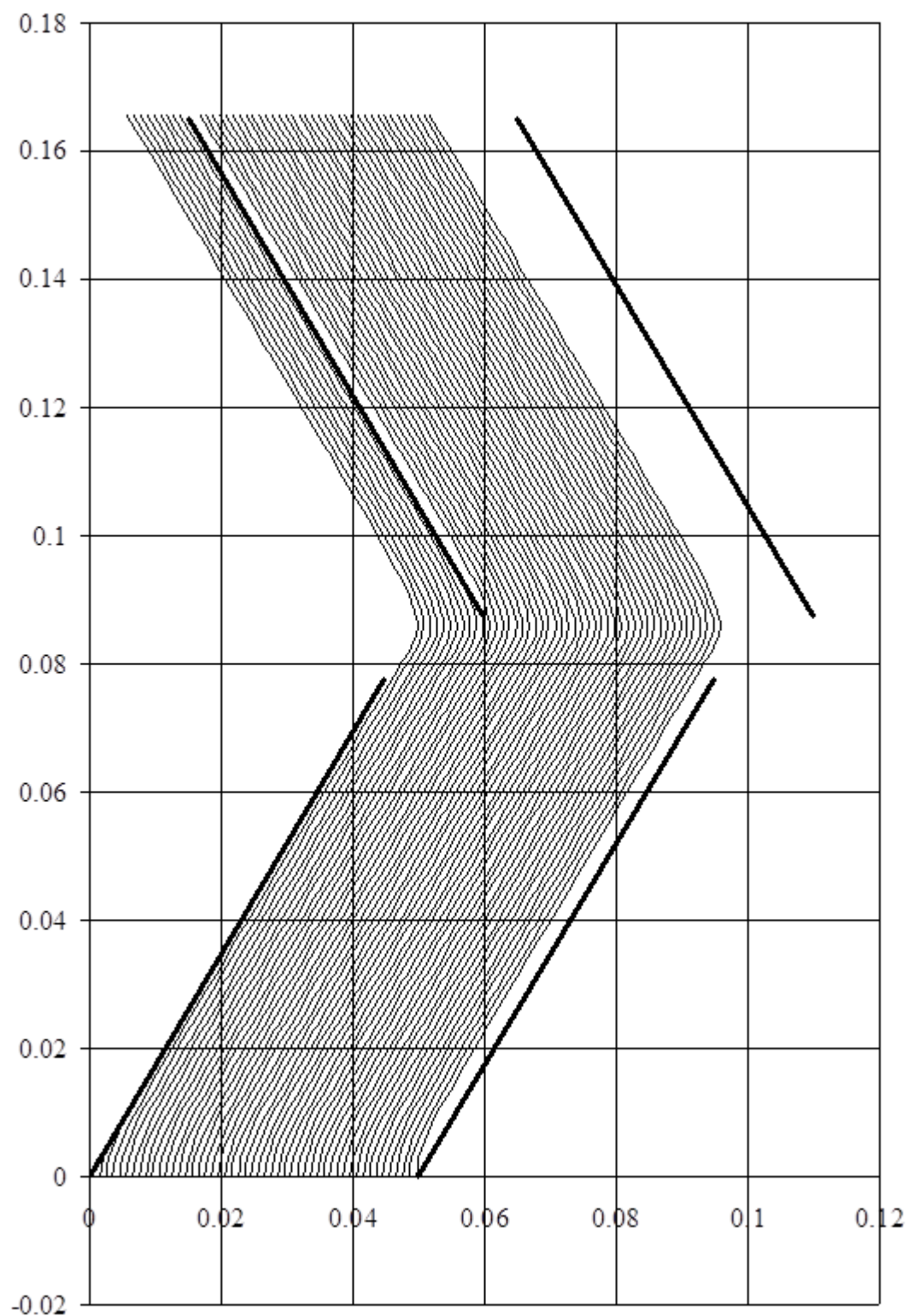


Рисунок 4.13 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

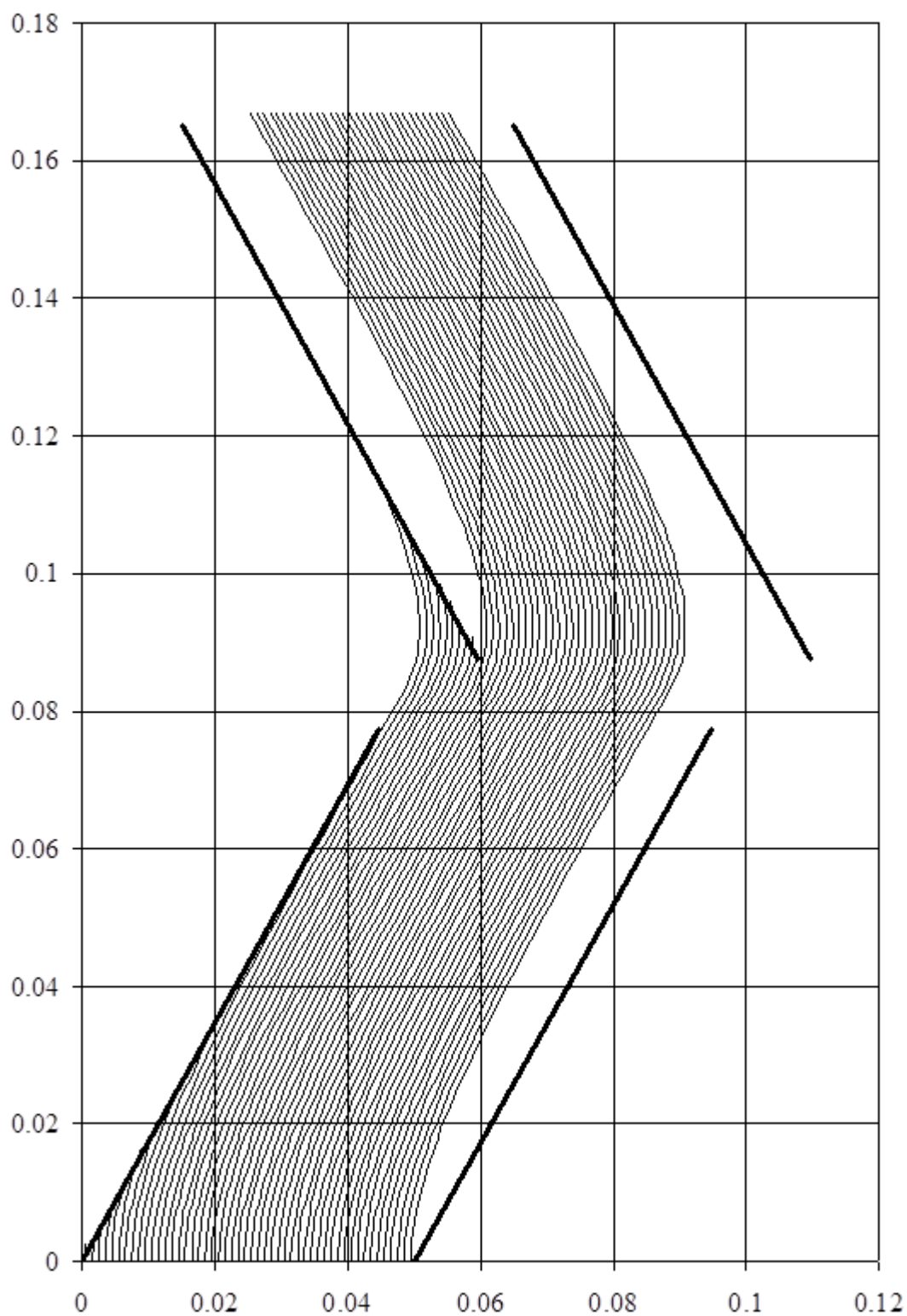


Рисунок 4.14 – Треєкторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

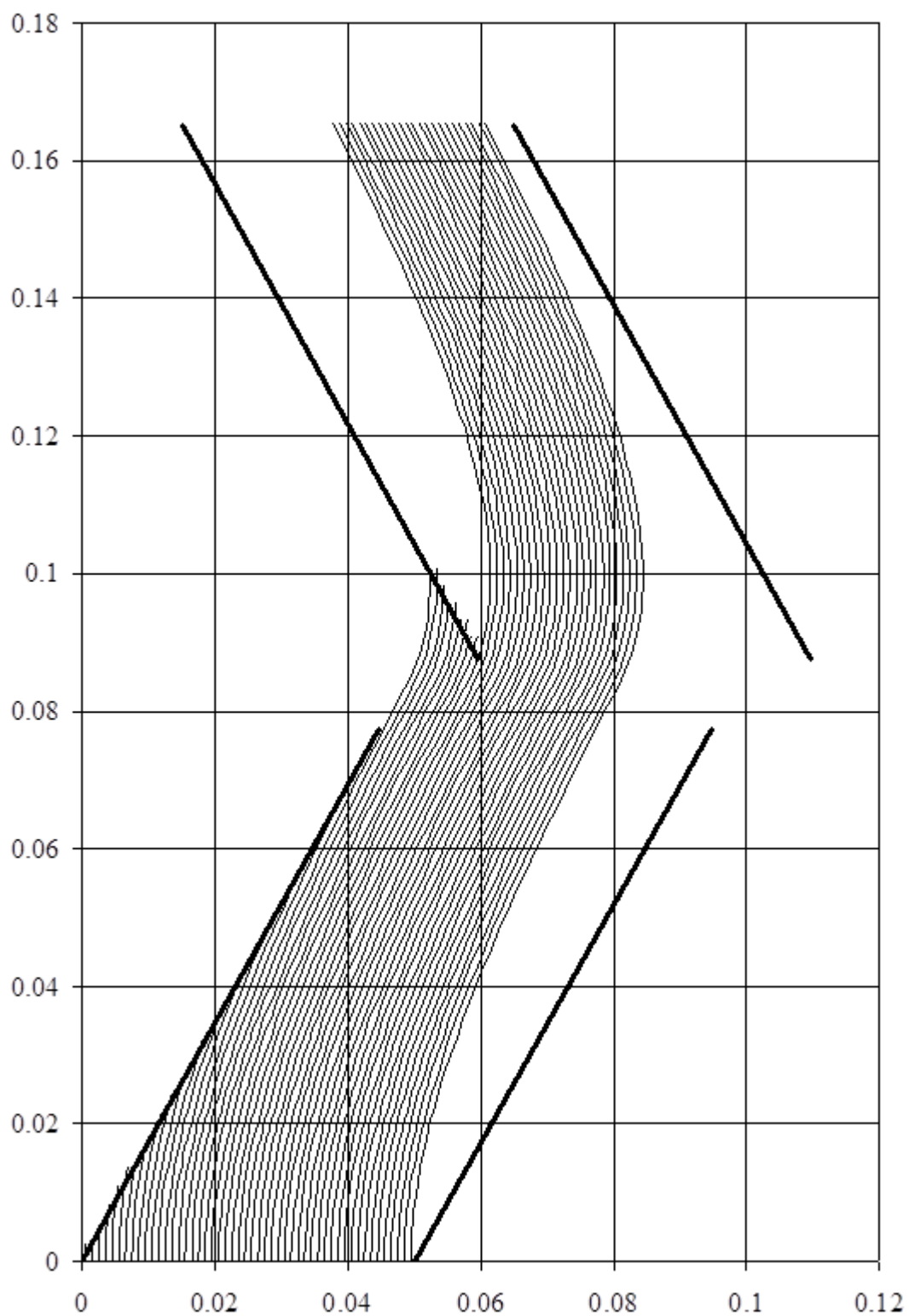


Рисунок 4.15 – Трескторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

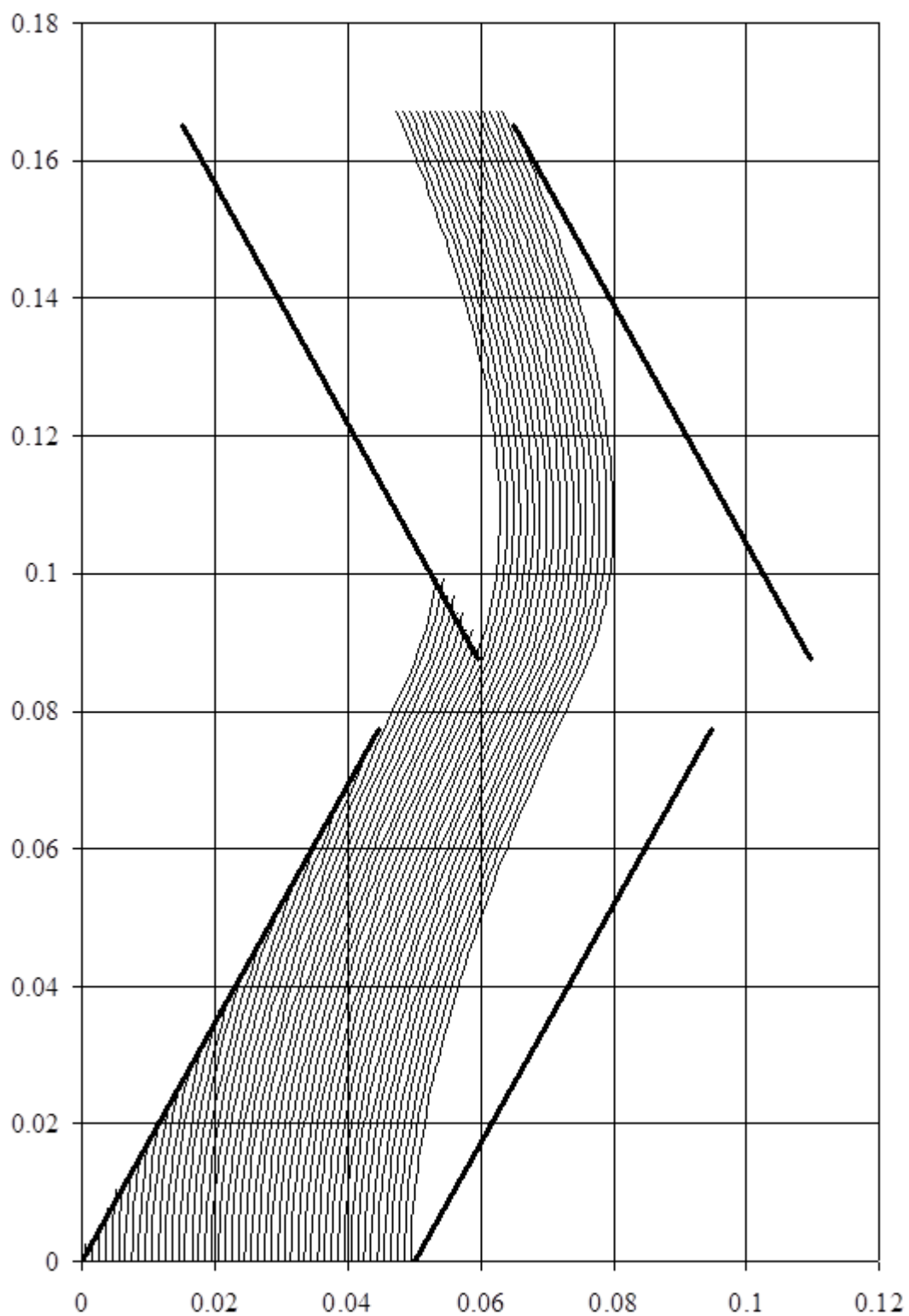


Рисунок 4.16 – Трескторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

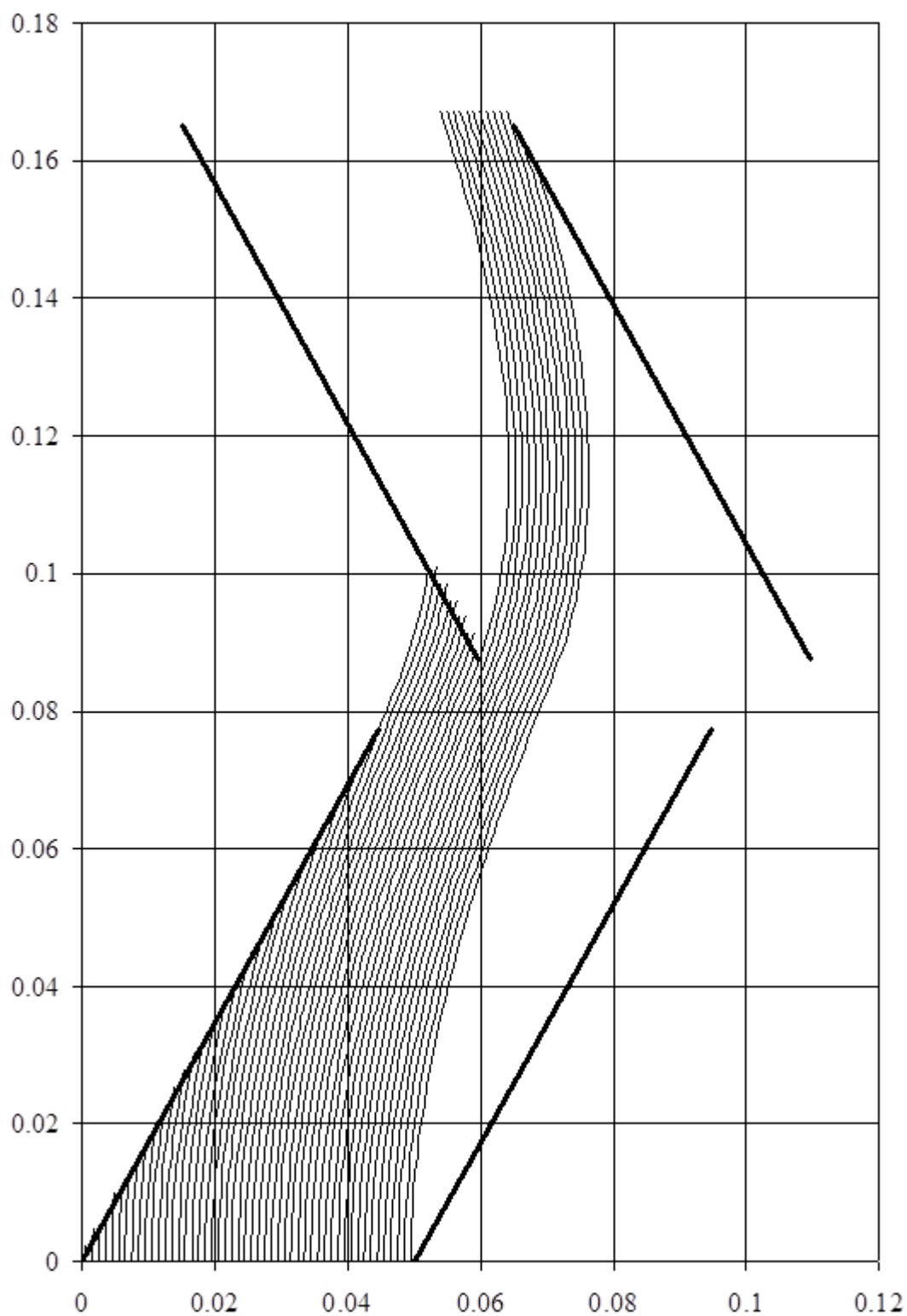


Рисунок 4.17 – Трескторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

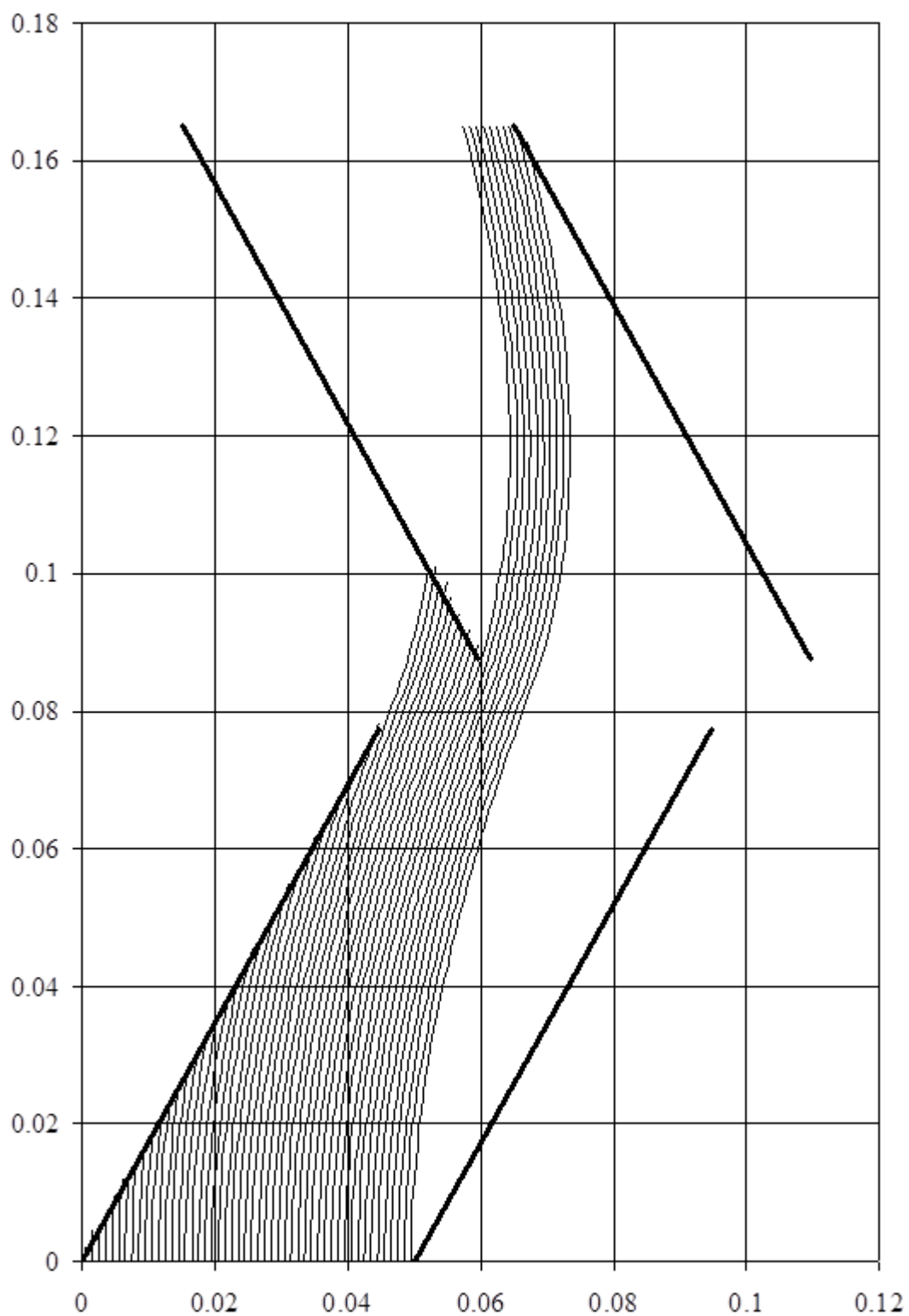


Рисунок 4.18 – Трескторії краплин у водоуловлювачі (вихідні дані у табл. 4.1)

Із рисунків випливає, що із збільшенням діаметру краплин, ефективність водоуловлювача збільшується внаслідок, більшої маси крапель і більшої кінетичної енергії. Тобто, менш крупні краплини потік відхиляє, як і очікувалось, менше. Наприклад, при збільшенні діаметру із 25 до 150 мкм ефективність збільшується на 58-74 % (для швидкостей  $U=1-3$  м/с). Збільшення швидкості потоку повітря призводить, також, до поліпшення уловлювання краплин. Це обумовлено зростанням сил аеродинамічного опору, і збільшенню впливу потоку на траєкторію руху краплин. Наприклад, при зростанні  $U$  від 1 до 3 м/с ефективність збільшується приблизно на 50 % (для діаметру 100 мкм).

Також був визначений вплив вплив геометричних розмірів жалюзійного водоуловлювача на ефективність уловлювання. В табл. 4.2 наведено параметри, при яких були виконані розрахунки; для всіх розрахунків діаметр краплин був 100 мкм, а швидкість потоку  $U=2$  м/с.

Таблиця 4.2 – Параметри водоуловлювачів для яких проведено розрахунки

| Параметри розрахунку         | Ефективність, % |
|------------------------------|-----------------|
| $h_2=5$ мм, $S=5$ мм         | 36              |
| $h_2=5$ мм, $S=10$ мм        | 24              |
| $h_2=5$ мм, $S=15$ мм        | 20              |
| $h_2=10$ мм, $S=5$ мм        | 34              |
| $h_2=10$ мм, $S=10$ мм       | 24              |
| $L=10$ мм, $\alpha=30^\circ$ | 100             |
| $L=10$ мм, $\alpha=45^\circ$ | 100             |
| $L=10$ мм, $\alpha=60^\circ$ | 100             |
| $L=25$ мм, $\alpha=30^\circ$ | 100             |
| $L=25$ мм, $\alpha=45^\circ$ | 100             |
| $L=30$ мм, $\alpha=30^\circ$ | 100             |
| $L=30$ мм, $\alpha=45^\circ$ | 100             |
| $L=30$ мм, $\alpha=60^\circ$ | 100             |



Як показали розрахунки, зменшення відстані між жалюзійними ґратками призводить, як і очікувалось, до підвищення ефективності уловлювання. Так, зменшення  $L$  від 50 до 30 мм збільшує ефективність уловлювання краплин до 100 %. Із збільшенням дисперсності розпилювання втрати рідини із градирні значно зменшуються. При зменшенні відстані між жалюзі із 50 до 20 мм винос зменшується із 0,093 до 0,0013 % .

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 48   |

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі побудована математична модель руху краплин в потоці повітря та їх сепарація у інерційному водоуловлювачі. Отримана замкнена система рівнянь була розв'язана за допомогою чисельного методу. Реалізація математичної моделі виконана на ПЕОМ і проведені розрахунки з аналізом отриманих результатів.

За допомогою математичної моделі визначено ефективність уловлювання краплин води у жалюзійному водоуловлювачі в залежності від дисперсного складу краплинного потоку та геометричних параметрів чарунки водоуловлювача.

Результати роботи можливо використовувати при проектуванні нових та дослідженні існуючих водоуловлюючих систем жалюзійного типу в охолоджуючих системах, а також у навчальному процесі УДУНТ.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
|     |      |             |        |      |                          |      |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 49   |

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Жевжик О.В. Гідроеродинамічне удосконалення розпилювальної градирні. Дис. канд. техн. наук: 05.14.06,- Дніпропетровськ, 2000. -180 с.

2 SOO S.L. Fluid dynamics of multiphase systems, Urbana: Univercity of Illinois, 1971. P. 536.

3 Martin A., Barbep F.R. Some water droplet measurements inside cooling tower// Atmospheric Environment. -1974.-V8, №4. -P. 325-336.

|     |      |             |        |      |                          |      |
|-----|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|     |      |             |        |      | 02.15.ТЕ2121.КРМ.2022-ПЗ | Лист |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 50   |