# АНОТАЦІЯ

***Костюк Н. О.*** Обґрунтування параметрів вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. – Хмельницький національний університет. – Хмельницький, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі – створення нових конструкцій вібраційних машин для кавітаційного знезаражування і зміни властивостей води з обґрунтуванням їх конструктивних параметрів і раціональних режимів роботи приводу та створенню методики їх розрахунків.

Об'єктом дослідження є коливальні процеси у вібраційних машинах для знезаражування і зміни властивостей рідинного середовища.

Предметом дослідження є конструктивні та динамічні параметри вібраційної машини поршневого типу, частотний діапазон режимів роботи вібраційного приводу.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обгрунтовано актуальність теми досліджень, розкритий зв’язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об’єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

Активне промислове використання кавітаційних процесів із застосуванням різних за принципом дії установок, машин, агрегатів переконливо підтверджує високу ефективність даного фізичного явища, як ефективного засобу безреагентного знезараження, прискорення хімічних реакцій, видозміни структури і властивостей водного середовища, що оброблюється. Тому дослідження динаміки процесу знезараження з

використанням кавітації при коливаннях рідини, створення нових конструкцій вібраційних машин, в яких рідина виступає як об'єкт, який піддається керованим вібраційним впливом, є актуальним науково-технічним завданням.

У першому розділі здійснено системний аналіз методів знезаражування водних потоків, сучасних конструкцій машин та обладнання для знезаражування та зміни властивостей води, приведено порівняльний аналіз типів їхніх вібраційних приводів та обгрунтовано вибір ексцентрикового приводу для запропонованої машини.

Проведений аналіз стану наукових досліджень застосування вібраційних технологій у процесах знезаражування та зміни властивостей води показав, що кавітаційна обробка рідин, має різноманітні технологічні можливості в біологічному знезаражуванні води і постає доцільність не лише у поглибленому вивченні та дослідженнях технологічних можливостей кавітаційної обробки, а і у напрямі створення конструкцій вібраційних машин, що реалізують її можливості, спроможних органічно поєднати ефективність способів збурення кавітації. Аналіз сучасних конструкцій обладнання та машин для кавітаційного впливу на рідинне середовище показав переваги і недоліки різних конструкцій обладнання і вібраційних приводів.

При аналізі експериментальних досліджень кавітації в низькочастотних звукових полях була виявлена аналогія з фізико-хімічними ефектами між низькочастотній і ультразвуковій кавітації, а основними параметрами, які впливають на інтенсивність процесу є значення максимального тиску $P_{max}$ в порожнині бульбашки та значення частотного характеру коливань рідини.

Результати аналізу літературних джерел і патентного огляду дали можливість сформулювати мету та задачі для досягнення поставленої мети.

У другому розділі описана загальна методологія досліджень, проведених в роботі, що базується на застосуванні системного підходу для вирішення поставленого науково-технічного завдання.

В основі системного підходу лежать відомі принципи: цілеспрямованості, моделювання фізичних процесів, визначення процедури основних системних

досліджень, змістовний аналіз, моделювання дослідження, вибір раціональних конструктивних рішень.

У процесі виконання дисертаційного дослідження розроблено оригінальну установку для моделювання фізичних процесів, що проходять у вібраційній машині для знезаражування та зміни властивостей води та установку для фотофіксації процесів, які проходять у камері пульсації вібраційної машини. Описані прилади та їх характеристики, які застосовуються для проведення вимірювань параметрів, що контролюються.

Приведена методика запропонованого способу фіксації зміни властивостей водних потоків після оброблення у вібраційній машині для знезаражування та зміни властивостей води та методика визначення ступеня знезаражування водних потоків після вібраційної кавітації.

У третьому розділі представлено аналітичну модель коливального процесу робочого середовища у вібраційній машині та отримано рівняння залежності максимального тиску у камері пульсації від конструктивних параметрів та режимів роботи приводу машини.

Вперше розроблено критерій оптимальності параметра максимальної продуктивності вібраційної машини поршневого типу, а саме: наявності максимального тиску робочого тіла у камері пульсації при максимальному тиску рідини на виході з отвору у поршні. $G_{\max} = F(P_{\max\ роб.т.} \Rightarrow P_{\max\ стр.})$

У результаті проведених експериментальних досліджень сили удару струменю з отвору у поршні, встановлено залежності впливу амплітуди та частоти на силу удару струменя в камері пульсації розміром 0,1 м. За умови збереження максимального перемішування водного середовища у ємкості машини та продуктивності рекомендовано використовувати амплітуду коливань 0,002 м.

З аналізу величини максимального тиску у камері пульсації приході поршня уверх встановлено, що тиск досягає величини 0,0048 МПа і значно менше тиску насичених парів 0,0012 МПа (при даних умовах) тому можна

зробити висновок, що отримано першу стадію кавітації – газову.

Результати досліджень по візуалізації процесу зворотно-поступального протікання рідини крізь отвір у поршні показали, що вже при незначних частотах його коливань від 10 Гц проявляється ефект появи кавітаційних каверн у отворі, кавітаційного росту та сплескування парогазових пухирців у камері пульсації вібраційної машини.

З аналізу експериментальних та аналітичних витрат енергії приводу вібраційної машини поршневого типу встановлено напрями розподілу витрат потужності приводу машини при зміні части коливань приводу за основними видами: механічні, теплові та кавітаційні реакції. Отримані залежності витрат потужності привода робочого органа вібраційної машини для знезаражування води від частоти коливання поршня показали, що енерговитрати на процес знезаражування та зміни властивостей потребують від 100 до 175 Вт, що говорить про енергощадність в порівнянні з іншими видами обладнання, призначеного для знезаражування.

Експериментальні та аналітичні дослідження підтвердили можливість проходження кавітаційних хімічних реакцій та зміни складу водного середовища при використанні вібраційної машини поршневого типу. Отримані результати можуть бути враховані при розробленні технологій та конструкцій вібраційного обладнання для очищення стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

У четвертому розділі розглянуто працездатність вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води та запропоновано методику проектного розрахунку основних вузлів вібраційної машини.

У результаті проведених експериментальних досліджень по знезаражуванню річкової води встановлено, що після оброблення кавітацією 20 хвилин, деякі види колоній бактерій знищуються повністю, а загальна кількість колоній бактерій зменшується до 80%, а дослідження зміни показників водопровідної води, обробленої кавітацією у вібраційній машині поршневого типу, показали, що після оброблення за період 20 хвилин, збільшується

концентрації вільних іонів водню у воді, відповідно показник pH збільшується до 8,4 pH, зменшується показник ORP, що говорить про насичення киснем рідинного середовища, зменшення показника TDS 420 до 330 одиниць говорить про зменшення солевого складу, а в цілому про поліпшення властивостей води.

Запропоновано узагальнену методологію для розрахунку конструктивних параметрів та вибору раціональних режимів роботи приводу вібраційної машини для впливу на властивості води та її знезаражування.

У результаті кінематичного та динамічного аналізу параметрів ексцентрикового приводу вібраційної машини встановлено величини силових та конструктивних параметрів компенсаційної пружної системи вібраційної машини, а саме: жорсткості пружної системи $C_x$ та її здатності до демпфування $k_x$. Ці параметри можуть бути використані у подальшому при конструюванні та розрахунках основних параметрів, вибору режимів роботи приводу вібраційної машини. Наведено методику визначення потужності електродвигуна приводу вібраційної машини.

Вперше, з побудованої аналітичної моделі коливального процесу робочого середовища у вібраційній машині поршневого типу, отримано залежності максимального тиску у камері пульсації від конструктивних параметрів та режимів роботи приводу машини та вперше експериментально обгрунтовано раціональні частотні границі роботи вібраційного приводу машини, які лежать у межах від 18 до 23Гц при амплітуді коливань 0,002м, та визначено співвідношення її конструктивних параметрів: при діаметрі поршня 0,1м рекомендовано застосовувати діаметр отвору у поршні від 0,006 до 0,008 м.

Одержав подальшого розвитку метод оцінки зміни основних властивостей води та експериментальне підтверджено, що кавітаційні процеси у вібраційній машині поршневого типу покращують основні характеристики водного середовища, а саме зростає pH, зменшується коефіцієнт поверхневого натягу, зменшується вміст сольових домішок.

Експериментально досліджено процес інактивації патогенної флори води з річки вібраційною кавітаційною обробкою та встановлено зниження росту колоній бактерій до 80%.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені теоретичні положення, математична модель вібраційної машини, нові технічні рішення і конструкції вібраційних машин, отримані співвідношення їх конструктивних параметрів та раціональні частотні границі роботи вібраційного ексцентрикового приводу вібраційної машини поршневого типу складають основу методики для проектування і створення вібраційних машин для безреагентного знезаражування та зміни властивостей водного середовища, завдяки якій інженери та науковці, які працюють у цій галузі, матимуть можливість впроваджувати у виробництво високоефективні та надійні зразки вібраційних машин.

*Ключові слова:* вібраційна машина, частотні режими роботи приводу, конструктивні параметри, робочий орган, кавітаційне знезаражування, зміна властивостей води, математичне моделювання, проектування.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 17 наукових працях.

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у закордонних наукових виданнях, що індексуються у міжнародних науко метричних базах даних Scopus, Web of Science:**

1. Dynamic processes in the pulsation chamber vibration machine for disinfection of water / Nazar Kostyuk, Anatoliy Hordieiev, Algimantas Bubulis, Oleksii Hordieiev. *Journal of Vibroengineering - Mechanical vibrations and applications.*Vol. 23. Is.4. 2021. 799-809 pp. (Scopus) https://doi.org/10.21595/jve.2021.21637. Особистий внесок здобувача: *побудова аналітичної моделі руху робочого тіла у вібраційній машині; експериментальні дослідження зміни максимального тиску у камері пульсації від частоти; обґрунтування конструктивних взаємозв'язків параметрів машини.*

**Статті у журналах, що включені до переліку фахових видань України:**

2. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Урбанюк Є. А. Обґрунтування параметрів компенсаційної пружної системи вібраційної машини з ексцентриковим приводом. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2018. № 6. т. 2.* С. 19-26. Особистий внесок здобувача: *розроблення конструктивної схеми і розрахунок конструкції пружної системи вібраційної машини.*

3. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Гордєєв О. А. Обґрунтування динамічних та конструктивних параметрів вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2019. № 6. С. 40-48. Особистий внесок здобувача: *обґрунтування динамічних та конструктивних параметрів вібраційної машини.*

4. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Нездоровін В.П. Експериментальні дослідження працездатності вібраційної машини для знезаражування і зміни властивостей води та етапи її проектування. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2020. № 4. С. 112-119. Особистий внесок здобувача: *проведення експериментальних досліджень для визначення працездатності вібраційної машини.*

5. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Гордєєв О. А. Дослідження розподілу енерговитрат приводу вібраційної машини поршневого типу для знезаражування та зміни властивостей води. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2020. №6. С. 73-78. Особистий внесок здобувача: *проведення експериментальних досліджень по визначенню розподілу енерговитрат приводу вібраційної машини; аналіз та оформлення результатів роботи.*

***Патенти України на корисну модель:***

6. Патент України №126495 Вібраційна машина для знезаражування водних середовищ / Н.О. Костюк, А.І. Гордєєв. Заяв. 02.01.2018; реєстраційний номер заявки u 2018 00099 Опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12. Особистий внесок

здобувача: *ідея розробки конструкції вібраційної машини та її опис; частка кожного з авторів є рівною.*

7. Патент України №128630 Спосіб кристалооптичного аналізу структурної будови води та ступеня її активації і забруднення біологічними рештками / А.Л. Ганзюк, В.П. Олександренко, А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. Заяв. 20.04.2018; реєстраційний номер заявки u 2018 04393 Опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18. Особистий внесок здобувача: *ідея реалізації способу, дослідження зразків та аналіз характеристик зміни властивостей води; частка кожного з авторів є рівною.*

8. Патент України №140291 Вібраційна машина для знезаражування води та її очистки / А.І. Гордєєв, А.Л. Ганзюк, О.В. Кравчук, В.В. Кравчук, В.П. Нездоровін, Н.О. Костюк,. Заяв. 17.07.2019; реєстраційний номер заявки u 2019 08456 Опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3. Особистий внесок здобувача: *ідея розробки конструкції вібраційної машини та опис її конструкції; частка кожного з авторів є рівною.*

***Статті в інших виданнях України:***

9. Інноваційні технології активації і знезаражування води / А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк, В.В. Кравчук, В.М. Кулик. *Енергозбереження поділля. Хмельницький центр нових технологій і інновацій.* 2018. №1 (65). С. 9-18. Особистий внесок здобувача: *експериментальне дослідження працездатності вібраційної машини.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

10. Костюк Н. О., Гордєєв А. І. Вібраційна машина для знезаражування водних середовищ. *Materiały XIV Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji. «Kluczowe aspekty naukowej działalności – 2018».* 07 - 15 stycznia 2018 roku. Volume 9. Techniczne nauki. Przemyśl. Nauka i studia. 2018. С. 10-13. Особистий внесок здобувача: *розроблення конструкції вібраційної машини.*

11. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Урбанюк Є. А. Створення математичної моделі вібраційної машини для знезаражування водних середовищ. *Збірник наукових праць міжнар. конф. молод. наук. «Сучасні технології в механіці»*, 19-

21 квітня 2018р. Хмельницький: ФОП Мельник А. А. 2018. С. 88-93. Особистий внесок здобувача: *побудова математичної моделі вібраційної машини.*

12. Костюк Н. О., Гордєєв А. І. Обґрунтування силових параметрів при розрахунках пружної системи вібраційної машини для знезаражування води. *Тези доповідей XVII-ої Міжнародної науково-технічної конференції. «Вібрації в техніці та технологіях»*. 11-12 жовтня 2018р. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2018. С. 60-61. Особистий внесок здобувача: *визначення силових параметрів при розрахунках пружної системи вібраційної машини.*

13. Костюк Н. О., Гордєєв А. І. Обґрунтування динамічних параметрів робочого органу вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води. *XIII Українсько-Польські наукові діалоги: Тези наукових праць міжнародної наукової конференції*. 16-19 жовтня 2019 р. Хмельницький – Кам'янець-Подільський: ХНУ, 2019. С. 85-86. Особистий внесок здобувача: *обґрунтування динамічних параметрів робочого органу вібраційної машини.*

14. Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Гордєєв О. А. Аналітичний аналіз динамічних параметрів вібраційної машини для знезараження та зміни властивостей води. *Materiały XVI Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji. «Strategiczne pytania światowej nauki – 2020»*. 07 - 15 lutego 2020 roku. Volume 9. Techniczne nauki. Przemyśl. Nauka i studia. 2020. С. 33-36. Особистий внесок здобувача: *аналітичний аналіз динамічних параметрів.*

15. Дослідження працездатності вібраційної машини для знезаражування і зміни властивостей води / Н.О. Костюк, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, А.Л. Ганзюк. *Materiały XVI Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji. «Nauka i inowacja – 2020»*. 07 - 15 października 2020 roku. Volume 8. Techniczne nauki. Przemyśl. Nauka i studia. 2020. С. 96-101. Особистий внесок здобувача: *експериментальне дослідження працездатності вібраційної машини.*

16.Костюк Н. О., Гордєєв А. І., Гордєєв О. А. Визначення частотних параметрів роботи приводу вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води. *Материали XVI международна научна практична*

*конференция «Динамиката на съвременната наука – 2020»*. 15 - 22 юли 2020 г. Vol. 4 София, «БялГРАД-БГ ОДД». 2020. С. 88-92. Особистий внесок здобувача: *експериментальні дослідження зміни максимального тиску у камері пульсації від частоти.*

17. Костюк Н. О. Експериментальні дослідження впливу конструктивних параметрів та режимів роботи вібраційного приводу машини на тиск пульсуючого струменю рідини з отвору у поршні. *Materiały XVII Mezinarodni vedecko-prakticka konference. «Dny vedy – 2021»*. 22 - 30 brezna 2021 roku. Vol. 3. Praha. Publishing House «Education and Science». 2021. С. 42-46.

## SUMMARY

***Kostyuk N.O.*** Substantiation of Parameters of the Vibrating Machine for Disinfection and Change of Properties of Water. - Manuscript.

PhD thesis in specialty 131 - Applied Mechanics. - Khmelnytskyi National University. - Khmelnytskyi, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the scientific and technical problem - development of the vibrating equipment for cavitation disinfection and change of properties of water with the definition of its constructive parameters and rational modes of operation of the drive.

The object of the study is the oscillating processes in vibrating machines for disinfection and change of the liquid medium properties.

The subject of the research is constructive and dynamic parameters of vibration machine piston type, frequency range of vibration modes of the drive.

The introduction provides the general description of the work, substantiates the relevance of the research topic, reveals the relationship of work with scientific programs, plans and topics, formulates the purpose, objectives, object and subject of the research, indicates the scientific novelty and practical significance of the results, determines the personal contribution of the applicant, demonstrates the data on approbation, publications, structure and scope of the work.

Active industrial use of cavitation processes with the application of different operation principles of machines, devices, units convincingly confirms the high

efficiency of this physical phenomenon as an effective means of reagent-free disinfection, acceleration of chemical reactions, changes in structure and properties of the treated aquatic environment. Therefore, the study of the dynamics of the process of disinfection using cavitation during fluid oscillations, the creation of new designs of vibrating machines, in which the liquid acts as an object exposed to controlled vibration, is an urgent scientific and technical task.

In the first chapter the system analysis of methods of water streams disinfection, modern designs of devices and the equipment for disinfection and change of properties of water is carried out, the comparative analysis of vibrating drives types and the choice of the eccentric drive for the offered machine is substantiated.

The analysis of the scientific researches on the application of vibration technologies in the processes of disinfection and changes in water properties testifies to the fact that cavitation treatment of liquids has various technological capabilities in biological water disinfection and is expedient not only in in-depth study and research of technological possibilities of cavitation treatment but enables the design of vibrating machines that organically combine the effectiveness of methods of perturbation of cavitation. The analysis of modern designs of equipment and machines for cavitation on the liquid medium showed the advantages and disadvantages of different designs of equipment and vibration drives.

The analysis of experimental studies of cavitation in low-frequency sound fields revealed an analogy with the physicochemical effects between low-frequency and ultrasonic cavitation, and the main parameters influencing the process intensity are the value of maximum pressure $P_{max}$ in the bubble cavity and the frequency of fluid oscillations.

The results of the analysis of literature sources and patent review made it possible to formulate goals and objectives to achieve this purpose.

The second chapter deals with the general methodology of research conducted in the work, which is based on the application of a systematic approach to solving the scientific and technical problems.

The system approach is based on the known principles: purposefulness, modeling of physical processes, definition of the procedure of basic system research, content analysis, research modeling, choice of rational design solutions.

In the course of the dissertation research an original installation for modeling of physical processes taking place in a vibrating machine for disinfection and change of water properties and an installation for photofixation of processes that take place in the pulsation chamber of the vibrating machine. The devices and their characteristics that are used to measure the monitored parameters are analyzed.

Research methods and description of the experimental setup for determining the maximum pressure in the pulsation chamber of the vibrating machine for disinfection and changing the properties of water.

The proposed method of fixing the change in the properties of water flows after treatment in a vibrating machine for disinfection and change the water properties and the method of determining the degree of disinfection of water flows after vibration cavitation are established.

The third chapter presents an analytical model of the oscillating process of the working medium in a vibrating machine and the equation of the dependence of the maximum pressure in the pulsation chamber on the design parameters and modes of operation of the machine drive.

The criterion of optimality of the parameter of the maximum productivity of the piston-type vibrating machine is proposed, namely: the presence of the maximum pressure of the working fluid in the pulsation chamber at the maximum fluid pressure at the outlet of the hole in the piston $G_{\max} = F(P_{\max\ роб.т.} \Rightarrow P_{\max\ стр.})$.

As a result of experimental studies of the force of impact of the jet from the hole in the piston, the dependence of the amplitude and frequency on the force of impact of the jet in the pulsation chamber of 0.1 m. Provided that the maximum mixing of the aqueous medium in the machine capacity and productivity is maintained, it is recommended to use an amplitude of oscillations of 0.002 m.

The results of the studies on the visualization of the process of reciprocating fluid flow through the hole in the piston showed that even at low frequencies of its oscillations from 10 Hz the effect of cavitation cavities in the hole, cavitation growth and flattening of vapor-gas bubbles in the pulsation chamber of the vibrating machine.

From the analysis of experimental and analytical energy consumption of the piston-type vibrating machine drive, the directions of power distribution of the machine drive power when changing the part of the drive oscillations by the main types: mechanical, medium heating and cavitation reactions are established. The obtained dependences of the power consumption of the working body of the vibrating machine for water disinfection on the oscillation frequency of the piston showed that the energy consumption for the decontamination process and changes in properties require from 100 to 175 W, which indicates energy savings compared to other types of equipment for disinfection.

Experimental and analytical studies have confirmed the possibility of cavitation chemical reactions and changes in the composition of the aqueous medium using a piston-type vibrating machine. The obtained results can be taken into account in the development of technologies and designs of vibration equipment for wastewater treatment of industrial, municipal enterprises, livestock complexes, etc.

In the fourth chapter the efficiency of the vibrating machine for disinfection and change of properties of water is considered and the technique of design calculation of the basic units of the vibrating machine is offered.

In experimental studies on river water disinfection, it was found that after cavitation treatment for 20 minutes, some types of bacterial colonies are completely destroyed, and the total number of bacterial colonies is reduced to 80%. After treatment for a period of 20 minutes the concentration of free hydrogen ions in water increases, respectively, the pH increases to 8,4 pH, the ORP decreases, which indicates oxygen saturation of the liquid medium, reducing the TDS 420 to 330 units indicates a decrease salt composition, and in general it improves the properties of water.

A generalized methodology for calculating design parameters and selection of rational modes of operation of the vibrating drive, machines for influencing the properties of water and its disinfection are proposed.

As a result of kinematic and dynamic analysis of the parameters of the eccentric drive of the vibrating machine, the values of force and design parameters of the compensating elastic system of the vibrating machine are established, namely: stiffness of the elastic system $C_x$ and its ability to damp $k_x$. These parameters can be used in the future in the design and calculation of basic parameters, the choice of modes of operation of the drive of the vibrating machine. The method of determining the power of the electric motor of the vibrating machine drive is given.

For the first time, the dependences of the maximum pressure in the pulsation chamber on the design parameters and modes of operation of the machine drive were obtained from the constructed analytical model of the oscillating process of the working medium in a piston-type vibrating machine, oscillations of 0,002 m, and the ratio of its design parameters were determined: with a piston diameter of 0.1 m, it is recommended to use the diameter of the hole in the piston from 0,006 to 0,008 m.

The method of estimating the change in the basic properties of water and experimental confirmation that cavitation processes in a piston-type vibrating machine improve the basic characteristics of the aqueous medium, namely, the pH increases, the surface tension coefficient decreases, the salt content decreases.

The process of inactivation of pathogenic flora of water from the river by vibration cavitation treatment was experimentally studied and the growth of bacterial colonies was reduced to 80 per cent.

The practical significance of the obtained results is that the developed theoretical provisions, mathematical model of vibrating machine, new technical solutions and designs of vibrating machines, obtained ratios of their design parameters and rational frequency limits of vibrating eccentric drive of piston type vibrating machine form the basis of methodology for design and creation of vibration machines for reagent-free disinfection and changes in the properties of the aquatic environment, thanks to which engineers and scientists working in this field will be

able to introduce into production highly efficient and reliable samples of vibration machines.

Key words: vibrating machine, frequency modes of drive operation, design parameters, working body, cavitation disinfection, change of water properties, mathematical modeling, design.

The main results of dissertation research have been published in 16 scientific papers.

***Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:***

***Articles in foreign scientific journals indexed in international scientific databases Scopus, Web of Science:***

1. Dynamic processes in the pulsation chamber vibration machine for disinfection of water / Nazar Kostyuk, Anatoliy Hordieiev, Algimantas Bubulis, Oleksii Hordieiev. *Journal of Vibroengineering - Mechanical vibrations and applications.*Vol. 23. Is.4. 2021. 799-809 pp. (Scopus) https://doi.org/10.21595/jve.2021.21637. Applicant's personal contribution: *construction of an analytical model of the motion of the working fluid in a vibrating machine; experimental studies of changes in the maximum pressure in the pulsation chamber from frequency; substantiation of constructive interrelations of machine parameters.*

***Articles in journals included in the list of professional publications of Ukraine:***

2. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Urbanyuk E. A. Substantiation of the parameters of the compensating elastic system of the vibrating machine with eccentric drive. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2018. № 6. v. 2. pp. 19–26. Applicant's personal contribution: *development of the constructive scheme and calculation of a design of elastic system of the vibrating machine.*

3. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Gordeev O. A. Substantiation of dynamic and design parameters for disinfection and change of water properties. *Herald of*

*Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2019. № 6. pp. 40–48. Applicant's personal contribution: *substantiation of dynamic and design parameters of the vibrating machine.*

4. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Nezdorovin V. P. Experimental studies of the efficiency of the vibrating machine for disinfection and change of water properties and stages of its design. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences* 2020. № 4. pp. 112-119. Applicant's personal contribution: *conducting experimental studies to determine the performance of the vibrating machine.*

5. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Gordeev O. A Investigation of the energy consumption distribution of a piston-type vibrating machine drive for disinfection and change of water properties. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences* 2020. №6. pp. 73-78. Applicant's personal contribution: *carrying out of experimental researches on definition of distribution of power consumption of the drive of the vibrating car; the analysis and registration of results of work.*

***Patents of Ukraine for utility model:***

6. Vibration machine for disinfection of aquatic environments / A.I. Gordeev, N.O. Kostyuk: Pat. for utility model 126495 Ukraine: IPC C02F 1/00, № u201810090: applications. 02.01.2018: publ. 08/28/2018, Bull. №12. Applicant's personal contribution: *the idea of designing a vibrating machine and its description; the share of each of the authors is equal.*

7. Vibrating machine for water disinfection and purification / A. I. Gordeev, A. L. Ganzyuk, O. V. Kravchuk, V. V. Kravchuk, V. P. Nezdorovin, N. O. Kostyuk: Pat. for utility model 140291 Ukraine: IPC C02F 9/00, 2019u 2019 08456: applications. 07.17.2019: publ. 10.02.2020, Bull. №3. Applicant's personal contribution: *the idea of implementing the method; research of samples and analysis of characteristics of change of properties of water; the share of each of the authors is equal.*

8. Method of crystal-optical analysis of the structural structure of water and the degree of its activation and contamination by biological residues / A.L. Ganzyuk, V.P. Aleksandrenko, A.I. Gordeev, N.O. Kostyuk: Pat. for utility model 128630 Ukraine: G01N 21/3577, 2018u 2018 04393: application. April 20, 2018: publ.

25.09.2018, Bull. № 18. Applicant's personal contribution: *the idea of developing the design of a vibrating machine and a description of its design; the share of each of the authors is equal.*

***Articles in other publications of Ukraine:***

9. Innovative technologies of activation and disinfection of water / A.I. Gordeev, N.O. Kostyuk, V.V. Kravchuk, V.M. Kulik. *Energy saving of Podillya. Khmelnytskyi Center for New Technologies and Innovations.* 2018. №1 (65). pp. 9-18. Applicant's personal contribution: *experimental study of the efficiency of the vibrating machine.*

***Scientific works that certify the approbation of the dissertation materials:***

10. Kostyuk N. O., Gordeev A. I. Vibrating machine for disinfection of aquatic environments. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. Key aspects of scientific activity - 2018.* 07 - 15 January 2018 . Volume 9. Technics nuke. Przemyśl. Science and study. 2018. pp. 10-13. Applicant's personal contribution: *design of the vibrating machine.*

11. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Urbanyuk E. A. Creating a mathematical model of a vibrating machine for disinfection of aquatic environments. *Collection of scientific works international. conf. young. Science. "Modern technologies in mechanics",* April 19-21, 2018. Khmelnytskyi: FOP Melnyk AA 2018. pp. 88-93. Applicant's personal contribution: *construction of a mathematical model of a vibrating machine.*

12. Kostyuk N.O., Gordeev A.I. Substantiation of power parameters in the calculations of the elastic system of the vibrating machine for water disinfection. *Abstracts of the XVII International Scientific and Technical Conference. "Vibrations in engineering and technology",* October 11-12, 2018. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2018. pp. 60-61. Applicant's personal contribution: *determination of force parameters in the calculations of the elastic system of the vibrating machine.*

13. Kostyuk N. O., Gordeev A. I Substantiation of dynamic parameters of the working body of the vibrating machine for disinfection and change of water

properties. *XIII Ukrainian-Polish scientific dialogues: Abstracts of scientific works of the international scientific conference.* October 16-19, 2019 Khmelnytskyi - Kamyanets-Podilsky: KhNU, 2019. pp. 85-86. Applicant's personal contribution: *substantiation of dynamic parameters of the working body of the vibrating machine.*

14. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Gordeev O. A. Analytical analysis of dynamic parameters of the vibrating machine for disinfection and change of water properties. *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. Strategic issues of world science - 2020.* 07 - 15 February 2020. Volume 9. Techniczne nauki. Przemyśl. Science and study. 2020. pp. 33-36. Applicant's personal contribution: *analytical analysis of dynamic parameters.*

15. Research of the efficiency of the vibrating machine for disinfection and change of water properties / N.O. Kostyuk, A.I. Gordeev, O.A. Gordeev, A.L. Hanzyuk. *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. Nauka i inowacja - 2020.* 07 - 15 października 2020 rock. Volume 8. Techniczne nauki. Przemyśl. Science and study. 2020. pp. 96-101. Applicant's personal contribution: *experimental study of the efficiency of the vibrating machine.*

16. Kostyuk N. O., Gordeev A. I., Gordeev O. A. Determination of frequency parameters of the vibrating machine drive for disinfection and change of water properties. *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference "Dynamics of Modern Science - 2020".* 15 - 22 July 2020 Vol. 4 Sofia, BelGRAD-BG ODD. 2020. C.88-92. Applicant's personal contribution: *experimental studies of changes in the maximum pressure in the pulsation chamber from frequency.*

17. Kostyuk N. O. Experimental studies of the influence of design parameters and modes of operation of the vibrating drive of the machine on the pressure of the pulsating jet of fluid from the hole in the piston. *Materials of the XVII International Scientific-Practical Conference. "Days of Veda - 2021".* 22 - 30 March 2021. Vol. 3. Prague. Publishing House «Education and Science». 2021. C. 42-46.