

## АНОТАЦІЯ

*Григорчук Г.В.* Моделі та засоби підвищення ефективності автоматизованого контролю технологічних процесів на протяглих квазіциліндричних обертових об'єктах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології (15 – автоматизація та приладобудування). – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2020.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення експлуатаційної надійності та ритмічності роботи конструкції протяглих обертових елементів в цукровій промисловості, гарантування високих, якісних та кількісних показників технологічного процесу управління автоматизованими системами керування, що функціонує в складних умовах експлуатації, розроблення й удосконалення існуючих математичних моделей обертових циліндричних об'єктів для контролю і забезпечення надійної роботи в складі автоматизованої системи керування.

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу визначення технічного стану елементів конструкції технологічного обладнання цукрової промисловості, що має геометричну конфігурацію протяглих обертових об'єктів методами автоматизованого контролю за їх станом з використанням теоретичних та експериментальних методів. З метою економії ресурсів на проведення ремонтних робіт переважну увагу зосереджено на використанні методів математичного моделювання технологічних процесів, які вимагають мінімальної експериментальної діагностичної інформації.

У вступі обґрунтовано актуальність задач дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, зазначено наукову новизну та сформульоване практичне значення отриманих результатів, проведено аналіз особистого внеску в публікації за темою роботи, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, проаналізовано кількість публікації та ступінь апробації роботи.

У першому розділі проведено аналіз ПОО (протяглих обертових об'єктів) як об'єктів контролю, вивчено особливості їх конструкцій, проведено аналіз існуючих методів експериментальних досліджень ПОО з зазначенням наявних.

Здійснено аналіз існуючих математичних моделей для оцінювання параметрів напруженого стану досліджуваних об'єктів з зазначенням невирішених задач моделювання, намічено задачі, що можуть бути вирішені в процесі виконання роботи.

Вказано, що необхідно розробити такі інженерні методики розрахунку параметрів технічного стану (напружений стан з урахуванням топології об'єкту, бандажуванням елементів конструкції, аеродинамічні характеристики лопатевого агрегату ПОО), які б дали змогу з точністю, що обумовлена виробничими вимогами, характеризувати зміну технічного стану ПОО без додаткової детальної інформації про всі сили та навантаження, фактори хімічного, теплового, аеродинамічного впливу, які діють на об'єкт в процесі його тривалої експлуатації. Виокремлено наступний клас задач, які необхідно вирішити в процесі дослідження технічного стану ПОО і визначено математичне моделювання процесу деформування та напруженого стану ПОО за зміною їх просторової конфігурації:

сучасні методи оцінювання технічного стану елементів конструкції протяглих обертових об'єктів, які використовують в цукровій промисловості;

математичне моделювання напружено-деформованого стану технологічних елементів конструкції в цукровому виробництві на основі зміни їх просторової конфігурації і, зокрема, процесу бандажування;

математичне моделювання аеродинамічних впливів на вентилятори ПОО з урахуванням зношеності лопатей з оцінюванням точності аеродинамічних моделей;

розроблення моделей та програмного забезпечення для відновлення елементів лопаткового апарату промислових вентиляторів, які використовують у цукровій промисловості;

розробка методики розрахунку економічної ефективності проведених досліджень технічного стану елементів конструкції ПОО, що використовуються в цукровій промисловості;

створення методів оцінювання довговічності технологічних елементів конструкції в цукровому виробництві на основі зміни їх просторової конфігурації та дії інших факторів силового впливу.

У другому розділі формалізовано клас задач технічної діагностики та контролю, некоректних з математичної погляду, для яких будується регуляризуючий алгоритм. Наведено розв'язання задачі оцінювання зміни напружено-деформованого стану модельного об'єкта з реальною геометричною конфігурацією за даними про переміщення точок поверхні. Побудовано розв'язання задачі про НДС технологічної труби, яка в процесі експлуатації підлягає бандажуванню на основі розв'язання задачі Ламе для двошарової труби. Досліджено зміну напружено-деформованого стану в реальному технологічному об'єкті цукрової промисловості що в процесі експлуатації зазнає значних технологічних впливів та має складну просторову конфігурацію осі. Вивчено особливості зміни 6 компонент тензору напружень за переміщеннями 6 точок поверхні досліджуваного ТОЦП(технологічний об'єкт цукрової промисловості).

У третьому розділі запропоновано систему оцінювання аеродинамічних характеристик лопаткового агрегату складних технічних систем – вентиляторів різного призначення в цукровій промисловості, газоперекачувальних агрегатів, авіаційних двигунів тощо. Проведено вибір системи координат для еліптичних профілів з різними величинами малих півосей, створено математичну модель процесу обтікання з використанням інтегрального рівняння Фредгольма II роду для визначення дотичної компоненти швидкості потоку, запропоновано метод його чисельного розв'язку шляхом використання формули трапецій для наближеного інтегрування визначених інтегралів, створено відповідне програмне забезпечення. Розглянуто випадки для різних значень півосей та кількості контрольних точок. Проведено тестові розрахунки для модельних еліптичних профілів під різними кутами атаки та з різною величиною малих півосей верхньої та нижньої поверхонь, виявлено добре узгодження з даними про

розрахунки за іншими моделями. За допомогою розроблених підходів виконано моделювання зміни геометрії профілю завдяки відкладанню на поверхні профілю компонентів газорідних сумішей та при зношенні лопатевого агрегату в процесі експлуатації внаслідок дії абразивних компонент. Досліджено зміну двох основних характеристик – коефіцієнту аеродинамічного опору та коефіцієнту підйімальної сили. Методику узагальнено на випадок системи лопатей з урахуванням кількості ушкоджених профілів та ступеня ушкодження. Вказано сферу галузі подальшого використання методики.

У четвертому розділі розглянуто автоматизацію виробничого та технологічного процесів з точки зору вдосконалення устаткування, технологічного оснащення і якості процесу, так і з точки зору забезпечення техніко-економічної ефективності.

Автоматизація цукрової промисловості забезпечує якісну, ефективну роботу всіх технологічних ділянок цукрового заводу тільки за допомогою комплексного підходу до рішення даної задачі.

Первинні перетворювачі і прилади з високими експлуатаційними характеристиками, використовувані в автоматичній системі управління технологічних процесів (АСУ ТП), дають можливість мати достовірні значення контрольованих параметрів технологічного процесу, роблять системи автоматизації функціонально завершеними і високонадійними.

Розроблена система автоматичного керування барабанною сушильною установкою для висушування цукру із забезпеченням регулювання вологості вихідної сировини і її температури. Задана вологість досягається зміною кількості теплого сухого повітря і зміною часу сушіння шляхом зміни кута нахилу осі сушильного барабану. Задана температура вихідної сировини досягається зміною кількості холодного сухого повітря.

А також визначається питання щодо розробки методики та програмного забезпечення для системи відновлення початкової конфігурації лопаткового апарату елементів конструкції методом напилення відновлювального шару шляхом мікродугового оксидування алюмінію та його сплавів. Основним результатом досліджень є побудова стохастичної моделі, яка дає змогу оцінити

частку чи відсоток площі поверхні, обробленої заданою кількістю імпульсів. Форму сліду кожного імпульсу вважаємо круговою та незмінною. З ростом кількості імпульсів відсоток площі обробленої поверхні експоненціально наближується до максимуму. Параметр цієї експоненціальної залежності прямо пропорційний відношенню площі, покритої одним імпульсом до площі всієї поверхні ( принаймні в інтервалі значень цього відношення від 0,0001 до 0,001). Точність цієї моделі є не гіршою 1% принаймні з ймовірністю 0,95. Модель побудована методом статистичного аналізу комп'ютерно змодельованого процесу.

Для оцінювання реального технічного стану діючих магістральних та технологічних трубопроводів, циліндрично-оберткових об'єктів вивчено питання щодо оцінки технічного ресурсу з урахуванням термінів експлуатації об'єктів, режимів дії на них силових факторів різної природи, які обумовлюють зміну несучої здатності об'єктів. Водночас використано статистичні підходи, які передбачають надання додаткової інформації про способи навантаження досліджуваного об'єкта, наявність навантажень, що мають періодичний характер. Для цього вивчено компоненти, які характеризують зміну напружень деформованого стану. Для визначення довговічності конструкцій необхідно з'ясувати, чи підпорядковується закон зміни напружень нормальному закону розподілу. При цьому вибираємо ті сектори на циліндричному об'єкті, на яких зміна напружень є максимальною. Потенційно можливо контролювати процес зміни напружень в кожній точці розрахункової сітки, але в такому випадку виникає необхідність мати справу зі значними обсягами обчислень. Запропоновано розрахункову схему для оцінювання довговічності технологічних оберткових об'єктів з використанням статистичного критерію, а також спосіб визначення зміни напружено-деформованого стану вказаних об'єктів. Реалізовано методику перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини – зміни напруженого стану об'єкта дослідження. Встановлено напрямки наступних досліджень.

Розглянуто завдання економіко-соціального характеру, тобто наскільки фінансово обґрунтованими є реалізація заходів технічної діагностики та

контролю, а також удосконалення управління ними з погляду забезпечення безаварійної роботи цих об'єктів. Для вирішення цих питань виникає потреба побудови відповідних математичних моделей теоретико-експериментального характеру. Задля цього використано апарат звичайних диференціальних рівнянь. Такий підхід можна використовувати експериментально за умови, коли всі функції, що моделюються, є асимптотичними сталими величинами. Під час проведення контролю діагностичних заходів на технічних об'єктах з метою підвищення ефективності управління, необхідно застосовувати ефективні методи, які б дали змогу одержувати відчутний результат при відносно невеликих затратах.

**Ключові слова:** протяглі обертові об'єкти, напружено-деформований стан, аеродинамічні характеристики, відновлення поверхонь, довговічність, економічна ефективність.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### *Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:*

1. Григорчук Г. В., Григорчук В. Л., Григорчук Л. І. Аналіз процесів експлуатації обертових об'єктів складної просторової конфігурації та методів контролю їх технічного стану. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ, 2017. №1 (38). С. 103–111. (Категорія "Б").

(Здобувачем здійснено аналіз існуючих обертових об'єктів складної просторової конфігурації та методів контролю їх технічного стану).

2. Григорчук Г. В. Математичне моделювання процесів деформації обертових об'єктів складної просторової конфігурації. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ, 2017. №2 (39). С. 102–107. (Категорія "Б").

(Робота виконана одноосібно).

3. Григорчук Г.В., Олійник А. П., Григорчук Л.І. Визначення напруженого стану барабанної труби та бандажу при роботі сушильних агрегатів. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ, 2018. №1 (40). С. 132–136. (Категорія "Б")

(Здобувачем здійснено аналіз існуючих математичних моделей визначення зміни напружено-деформованого стану ПОО).

4. Олійник А. П., Фешанич Л. І., Григорчук Г. В. Розроблення системи оцінювання аеродинамічних характеристик лопаткового агрегату складних технічних систем. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування ім. Адмірала Макарова*. Миколаїв, № 1 (475), 2019. С. 103–108. (Категорія "Б").

(Здобувачем проведено дослідження геометрії лопаток вентиляторів промислового призначення досліджено залежність результатів від положення розрахункових точок).

5. Oliynyk A. P., Grygorchuk G. V., Nezamay B. S., Feshanych L. I. *Usage of the apparatus of ordinary differential equations in modelling of economic and environmental systems* Математичне моделювання в економіці, №3, 2019. ISSN 2409-8876 С. 57–66 DOI: 10.35350/2409-8876-2019-16-3-57-66.

(Здобувач приймав участь у створенні моделі для оцінки економічної ефективності розроблених засобів контролю, проведено розрахунки в середовищі MathCAD).

6. Олійник А. П., Григорчук Г. В., Клапоушак О. І., Фешанич Л.І. Оцінка довговічності об'єктів за даними про переміщення точок їх поверхні. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки.* Хмельницький, 2020. С.158–162. (DOI 10.31891/2307-5732). (Категорія "Б") (Індексується в Index Copernicus).

(Здобувачем запропоновано методику визначення зміни напружено-деформованого стану технологічного обладнання цукрової промисловості за відомими переміщеннями точок поверхні).

7. Григорчук Г. В., Григорчук Л. І., Олійник А. П., Рис В. В. Моделювання деформування об'єктів, що працюють в умовах температурних впливів. *Прикарпатський вісник наукового товариства ім. Шевченка. Число. Івано Франківськ, 2019. №1 (53). С. 38–44.*

(Здобувачем запропонована методика врахування температурних перепадів при визначенні деформацій об'єктів, що досліджуються).

8. Grygorchuk G. V., Oliynyk A. P., Grygorchuk L. I. The research of the model deformation process of rotating objects. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І Вернадського. Серія: технічні науки.* Київ, 2019. Том 30 (69) Категорія «Б» ISSN: 2663-5941 №3. Частина I. С.86–90. (Індексується в Index Copernicus).

(Здобувачем здійснено аналіз існуючих математичних моделей визначення зміни напружено-деформованого стану ПОО).

9. Григорчук Г. В., Олійник А. П. Розробка системи оцінки аеродинамічних характеристик лопатей сушильного агрегату та його технологічних вентиляторів. *Методи та прилади контролю якості.* Івано-Франківськ. 2018. №2 (41). С.82–90. (Категорія "Б").

(Здобувач проводив дослідження геометрії лопаток оцінки точності чисельних методів інтегрування інтегральних рівнянь).



10. Григорчук Г. В., Григорчук Л. І. Дослідження напруженого стану барабанної труби та бандажу при роботі сушильних агрегатів. *World Science. Multidisciplinary Scientific Edition. Warsaw*. 2018. №6 (34). С. 64–67. DOI: [https://doi/10.31435/rsglobal\\_ws/12062018/5822](https://doi/10.31435/rsglobal_ws/12062018/5822) . (Індексується в Index Copernicus).

(Здобувач брав участь у постановці математичної моделі процесу бандажування елементів конструкції технологічного обладнання на основі задачі Ламе для двошарової труби). (Індексується в Index Copernicus).

11. Олійник А. П., Григорчук Г. В., Говдяк Р. М. Застосування методів математичного моделювання для оцінки технічного стану трубопроводів та стану довкілля. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ, 2019. №1(42). С.97–104. ) ] (Категорія "Б").

(Здобувачем запропонована адаптація моделі напружено-деформованого стану до реальної просторової конфігурації технологічних трубопроводів).

#### ***Опубліковані праці апробаційного характеру:***

1. Григорчук Г. В., Григорчук Л. І., Роп'як Л. Я. Комп'ютерна програма для моделювання процесу плазмово-електролітичного оксидування алюмінію. *Інтелектуальний продукт вчених і винахідників Прикарпаття 2016 р.* Івано-Франківськ, 2016. С. 39–41.

2. Григорчук Г. В. Математична модель та аналіз геодезичного дослідження стовбура свердловини при видобутку сланцевого газу / Григорчук Г. В. Петраш А. І. Григорчук Л. І./ *Матеріали всеукраїнської наукової конференції . "Сучасні проблеми теорії ймовірностей та математичного аналізу."* Ворохта, 2017. с. 65-68.

3. Григорчук Г. В. Дослідження економічної моделі в задачах технічного контролю та автоматизації. / Григорчук Г.В., Григорчук Л. І., Олійник А. П., Незамай Б. С./ *Z. Gloger Wolomin International and Regional Cooperation University International Multidisciplinary Conference SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE PRESENT TIME: PRIORITY DEVELOPMENT DIRECTIONS OF UKRAINE AND POLAND 19–20 October Volume 4, 2018.* с. 94–96.

4. Григорчук Г. В. Шляхи розв'язання задач управління діючими циліндричними обертовими об'єктами / Григорчук Г.В., Олійник А. П., Григорчук Л. І. / *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), м. Тернопіль, 22–24 трав. 2018 р. Тернопіль : ТНТУ, С. 177-179.*

5. Григорчук Г. В. Задання економічної моделі в задачах діагностики технічного контролю та автоматизації промислових об'єктів. / Григорчук Г. В., Григорчук Л. І. / *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology Vol.1, May 31, 2019, Warsaw, Poland с. 23-27.*

6. Grygorchuk G., Oliynyk A., Grygorchuk L., Tyrlych V., Rys V. Estimation of the durability of technological rotating objects by data on the displacement of their surface points. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 16-18 Sept. 2020. P. 265–268. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9209013. ISBN:978-1-7281-6759-6. (Індексується в Scopus та Web of Science).

## SUMMARY

*Grygorchuk G.V.*, Models and means to increase the efficiency of automated control of technological processes on long quasi-cylindrical rotating objects. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies (15 – automation and instrumentation). – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2020.

The purpose of the thesis research is increasing the operational reliability and rhythmicity of the long rotating elements in the sugar industry, guaranteeing high, qualitative and quantitative indicators of the technological process for managing automated control systems operating in difficult conditions, development and improvement of existing mathematical models for rotating cylindrical objects to monitor and ensure reliable operation as part of an automated control system.

The thesis deals with the solution of the scientific and practical problem for determining the technical condition of thbane structural elements of the technological equipment applied by the sugar industry, which has a geometric configuration of long rotating objects by automated control over their condition using theoretical and experimental methods. In order to save resources on repair work, the main attention is paid to the usage of methods of mathematical modeling of technological processes that require minimal experimental diagnostic information.

The introduction substantiates the relevance of research objectives, shows the relationship with scientific programs, plans, topics, scientific novelty and practical significance of the results, analysis of personal contribution to the publication on the topic, defines the purpose, object and subject of research, the number of publications and the degree of approbation of the work were analysed.

In the first section the analysis of LRO (long rotating objects) as objects of control is carried out, features of their designs are studied, the analysis of existing methods of experimental researches of LRO with the indication of available is performed.

The analysis of existing mathematical models for estimating the parameters of the stress state of the studied objects with the indication of unsolved modeling problems is carried out, the problems that can be solved in the process of work are outlined.

The analysis of existing mathematical models for estimating the parameters of the stress state of the studied objects with the indication of unsolved modeling problems, the problems that can be solved in the process of work.

It is indicated that it is necessary to develop such engineering methods for calculating the parameters of technical condition (stress- strain state taking into account the topology of the object, banding structural elements, aerodynamic characteristics for the blade unit of long rotating objects), which would allow with accuracy due to production requirements to characterize changes in long cylindrical objects without additional detailed information about all forces and loads, factors of chemical, thermal, aerodynamic influence which acted on object in the course of its long operation. The following class of problems is singled out that need to be solved in the process of studying the technical condition of long rotated objects and mathematical modeling of the process of deformation and stress state of long cylindrical objects by changing their spatial configuration:

- analysis of modern methods for assessing the technical condition of structural elements of long cylindrical objects used in the sugar industry;
- mathematical modeling of the stress-strain state of technological elements of the structure in sugar production on the basis of changes in their spatial configuration, and, in particular, the process of their banding;
- mathematical modeling of aerodynamic effects on long rotating objects fans taking into account the wear of the blades with an assessment of the accuracy of aerodynamic models;
- development of models and software for restoration of elements of the blade unit of industrial fans used in the sugar industry;
- development of methodology for calculating the economic efficiency of research on the technical condition of long rotating objects design elements used in the sugar industry;

- creation of methods for assessing durability of technological design elements in sugar production on the basis of changes in their spatial configuration and the action of other force factors.

In the second section the class of problems for technical diagnostics and control, incorrect from the mathematical point of view is formalized for which the regularizing algorithm is constructed. The solution is given to the problem of assessing the change in the stress-strain state of a model object with a real geometric configuration based on the data on the movement of surface points. The solution to the problem of stress strained state of the technological pipe, which in the process of operation is subject to banding is constructed on the basis of the solution of the Lamé problem for a two-layer pipe. The change of the stress-strain state in the real technological object of the sugar industry is investigated, which in the process of operation undergoes significant technological influences and has a complex spatial configuration of the axis. The peculiarities of the change of 6 components of the stress tensor by the displacements of 6 points of the surface of the investigated thermal objects of the sugar industry are studied.

The features of the change of 6 components of the stress tensor along the displacements of 6 points of the surface of the investigated TOCP (technological object of the sugar industry) have been studied.

In the third section, a system is proposed for assessing the aerodynamic characteristics of a blade unit of complex technical systems – fans for various purposes in the sugar industry, gas pumping units, aircraft engines, etc. The choice of the coordinate system for elliptical airfoils with different values of the semi-minor axes was carried out, a mathematical model of the flow process was created using the Fredholm integral equation of the second kind to determine the tangential component of the flow velocity, the method for its numerical solution was proposed by using the trapezoid formula for the approximate integration of certain integrals, the corresponding software. The cases are considered for different values of the semi-axes and the number of control points. The test calculations for model elliptical profiles at different angles of attack and with different values of the minor semi-axes of the upper and lower surfaces are carried out; good correlation is revealed with the data on

calculations by other models. With the help of the developed approaches, the modeling of the change in the geometry of the profile was carried out due to the deposition of the components of gas-liquid mixtures on the surface of the profile and the wear of the blade unit during operation due to the action of abrasive components. The change in two main characteristics - the aerodynamic drag coefficient and the lift coefficient - is investigated. The technique is summarized for the case of a blade system, taking into account the number of damaged profiles and the degree of damage. The area of the industry for the further use of the method is indicated.

The fourth chapter examines the automation of production and technological processes from the point of view of improving equipment, technological equipment and process quality, and from the point of view of ensuring technical and economic efficiency.

Automation of the sugar industry ensures high-quality, efficient operation of all technological sections of the sugar refinery only by an integrated approach to solving this problem.

Primary converters and devices with high performance characteristics, used in the automatic control system of technological processes (ACS TP), allow to have reliable values of the controlled parameters of the technological process, make the automation systems functionally complete and highly reliable.

The system for automatic control of a drum drying unit for drying sugar with the provision of adjusting the moisture content of the feedstock and its temperature has been developed. The specified humidity is achieved by changing the amount of warm dry air and changing the drying time by changing the angle of inclination of the drying drum axis. The specified temperature of the feedstock is achieved by changing the amount of cold dry air.

And also, the issue of developing a methodology and software is being determined for a system for restoring the initial configuration of a blade unit of structural elements by spraying a reducing layer by micro-arc oxidation of aluminum and its alloys. The main result of the research is the construction of a stochastic model that makes it possible to estimate the proportion or percentage of the surface area processed by a given number of impulses. The shape of each impulse trace is assumed

to be circular and constant. As the number of pulses increases, the percentage of the treated surface area exponentially approaches its maximum. The parameter of this exponential dependence is directly proportional to the ratio of the area covered by one pulse to the area of the entire surface (at least in the range of values of this ratio from 0.0001 to 0.001). The accuracy of this model is no worse than 1%, at least with a probability of 0.95. The model is constructed by the method of statistical analysis of a computer-simulated process.

To assess the real technical condition of existing main and process pipelines, cylindrical- rotating objects, the issues of assessing the technical resource has been studied, taking into account the service life of the objects, the modes of action on them of various nature force factors, which cause a change in the bearing capacity of the objects. At the same time, statistical approaches were used, providing for the provision of additional information on the methods of loading the object under study, the presence of loads that have a periodic nature. For this, the components characterizing the change in the stresses of the deformed state are studied. To determine the durability of structures, it is necessary to find out whether the stress variation law obeys the normal distribution law. In this case, we select those sectors on the cylindrical object, on which the change in stresses is maximum. It is potentially possible to control the process of changing stresses at each point of the computational grid, but in this case, it becomes necessary to face a significant amount of computation. The calculation scheme is proposed for assessing the durability of technological rotating objects using a statistical criterion, as well as a method for determining the change in the stress-strain state of these objects. A technique for testing the hypothesis about the normal distribution of a random variable – a change in the stress state of the object of research has been implemented. Directions for further research have been established.

The problem of an economic and social nature is considered, i.e., how financially justified are the implementation of measures of technical diagnostics and control, as well as improving their management from the point of view of ensuring the trouble-free operation of these objects. To solve these issues, it becomes necessary to construct appropriate mathematical models of theoretical and experimental nature. For this, the apparatus of ordinary differential equations was used. This approach can be used

experimentally under the condition that all simulated functions are asymptotic constants. When monitoring diagnostic measures at technical facilities in order to improve management efficiency, it is necessary to apply effective methods that allow you to get tangible results at relatively low costs.

**Keywords:** long rotating objects, stress-strain state, aerodynamic characteristics, surface restoration, durability, economic efficiency.



ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТОРП – теплотехнологічний об'єкт з розподіленими параметрами.

ПОО – протяглий обертовий об'єкт.

НДС- напружене деформування стану.

САПР-система автоматизованого проектування.

АСК-автоматизована система керування.

АСП-автоматизована система проектування.

АСУ ТП- автоматизована система управління технологічними процесами.

ТОЦП-технологічний об'єкт цукрової промисловості.

ОК- об'єкт контролю.

ОРП -об'єкт з розподіленими параметрами.

ПУ- початкові умови.

ГУ -граничні умови.

$H_n(x)$  - многочлен Ерміта степеня  $n$ .

$\lambda, \mu$  - коефіцієнти Ламе.

$T$ - температура.

$a$  – коефіцієнт температуропровідності.

$(\alpha, \beta, \gamma)$  – напрямний вектор прямої.

$\chi^2$  – функція розподілу Пірсона.

$s, \varphi, r$  - кординати пов'язані з циліндричним тілом відповідно вздовж осі.

тіла , по полярному куту та по радіусу осі тіла.

$I_r(\varepsilon)$  перший інваріант тензору деформації.

$[\cdot]$  - ціла частина числа.