



UDC 004.4

**AUTOMATED SYSTEM FOR PREDICTING THE DURABILITY OF
ARTIFICIAL HEART VALVES**
**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ШТУЧНИХ КЛАПАНІВ СЕРЦЯ**

Solomin A.V. / Соломін А.В.*c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5226-8813

Maksymenko V.B. / Максименко В.Б.*d.m.s, prof. / д.м.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4747-2147

Tuzov O.O. / Тузов О.О.

ORCID: 0009-0006-3469-5869

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute»,
Kyiv, Prospect Beresteiskyi, 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, просп. Берестейський, 37, 03056*

Анотація. Актуальність теми роботи пов'язана із задачею створення вітчизняних зразків штучних клапанів серця. На етапі досліджень можливих варіантів матеріалів для стулок клапанів та форм каркасів для їх кріплення важливим етапом є їх тестування. Існує спеціальний автоматизований стенд, який дозволяє вимірювати обсяги та швидкості прямих і зворотніх потоків рідинних симуляторів крові через клапан, тиск рідини та інші параметри. Але всі ці параметри стосуються статичних характеристик досліджуваного зразка. Не передбачено аналіз його поведінки в часі, зокрема прогнозування довговічності. В роботі пропонується метод оцінок прогнозів параметрів довговічності зразків через використання регресійного аналізу на сукупності даних їх тривалих вимірювань.

Ключові слова: штучний клапан серця, тестування, динамічні характеристики, NI LabVIEW, регресія.

Вступ.

Актуальною задачею в галузі біомедичної інженерії для серцевої хірургії є розробка штучних клапанів серця. Крім загальних проблем біосумісності матеріалів, складності кріплення клапанів в судинах, варіативності розмірів дуже суттєвою є та обставина, що стулки клапана відкриваються та закриваються приблизно 100 тисяч разів на добу, тобто відбувається приблизно 40 млн циклів на рік. Оскільки клапан повинен виконувати свою функцію не один рік, то вимоги до його довговічності надзвичайно високі. Тривалий час відбувався пошук матеріалів для виготовлення стулок клапанів, що здатні відповідати таким вимогам. Зараз вважається оптимальним використання не штучних полімерів або металевих стулок, а природнього компонента – перикарда бичачого серця. Але для отримання необхідних механічних характеристик за умови забезпечення біосумісності при виготовленні застосовується надзвичайно складна технологія обробки цього матеріалу. Наразі у кількох лабораторіях відшліфовуються елементи цієї технології з метою організувати виготовлення якісних вітчизняних клапанів серця.

Суттєвий вплив на функціональність штучних клапанів має також конфігурація каркасу, на який кріпляться стулки. Він виготовляється з



біосумісного металевого сплаву нітінолу, а форма та методи кріплення також є наразі предметом досліджень з метою оптимізації. На рис. 1 наведено зовнішній вигляд штучного клапану.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд штучного клапану серця

Для тестування експериментальних зразків клапанів було створено спеціальний автоматизований стенд, який дозволяє вимірювати обсяги та швидкості прямих і зворотніх потоків рідинних симуляторів крові через клапан, тиск рідини та інші параметри. Але всі ці параметри стосуються статичних характеристик досліджуваного зразка. Не передбачено аналіз його поведінки в часі, зокрема прогнозування довговічності.

Метою даної роботи була розробка методики оцінки прогнозних характеристик довговічності зразків клапанів (тобто динамічних, залежних від часу параметрів) на основі використання регресійного аналізу.

Основний текст.

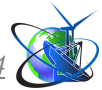
В роботі пропонується побудувати універсальну регресійну модель, через яку можна досліджувати та прогнозувати часові зміни кожного критичного параметра [1]. Це передбачає вимірювання значень цих параметрів через певні часові проміжки достатньо довго, щоб можна було побудувати приблизну функцію залежності їх значень від часу з подальшим використанням цієї функції для прогнозування довговічності зразка, тобто часу, коли значення характеристик перетнуть допустимий поріг.

Програмним середовищем розробки обрано NI LabVIEW, яке в даний час є неформальним стандартом у галузі медико-біологічного приладобудування та легко вбудовується у більшість сучасних програмно-апаратних комплексів [2, 3].

Середовище NI LabVIEW (National Instrument Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench – середовище розробки лабораторних віртуальних приладів) дуже зручне для додатків, які створюються та використовуються не програмістами, а фахівцями інженерної галузі, зокрема біомедичними інженерами.

Замість текстових мов програмування зі складними синтаксичними правилами тут використовується графічна мова G, яка має більш звичний для інженерів вид блок-діаграм.

Додатковими перевагами середовища є наявність великої кількості вбудованих функцій та підпрограм, багатство розвинених, зручних та наочних елементів для побудови інтерфейсів, можливість взаємодії з іншими середовищами та зовнішніми пристроями.



У контексті вирішення поставленого завдання перевагою середовища NI LabVIEW у порівнянні з іншими засобами є практично відкритий код, що дозволяє легко доопрацьовувати або адаптувати програмні засоби для різних умов та вимог.

Приклад реалізації обчислень параметрів такої моделі регресії з використанням засобів програмного середовища NI LabVIEW наведено на рис.2 та рис.3 (числові значення тут носять лише ілюстративний характер).

На рис.2 зображено передню панель (інтерфейс) віртуального приладу (так в середовищі NI LabVIEW називаються програми) для побудови формули регресії. З ілюстрації видно призначення елементів введення інформації і елементів керування, які дозволяють досить гнучко налаштувати режими та точність обчислень.

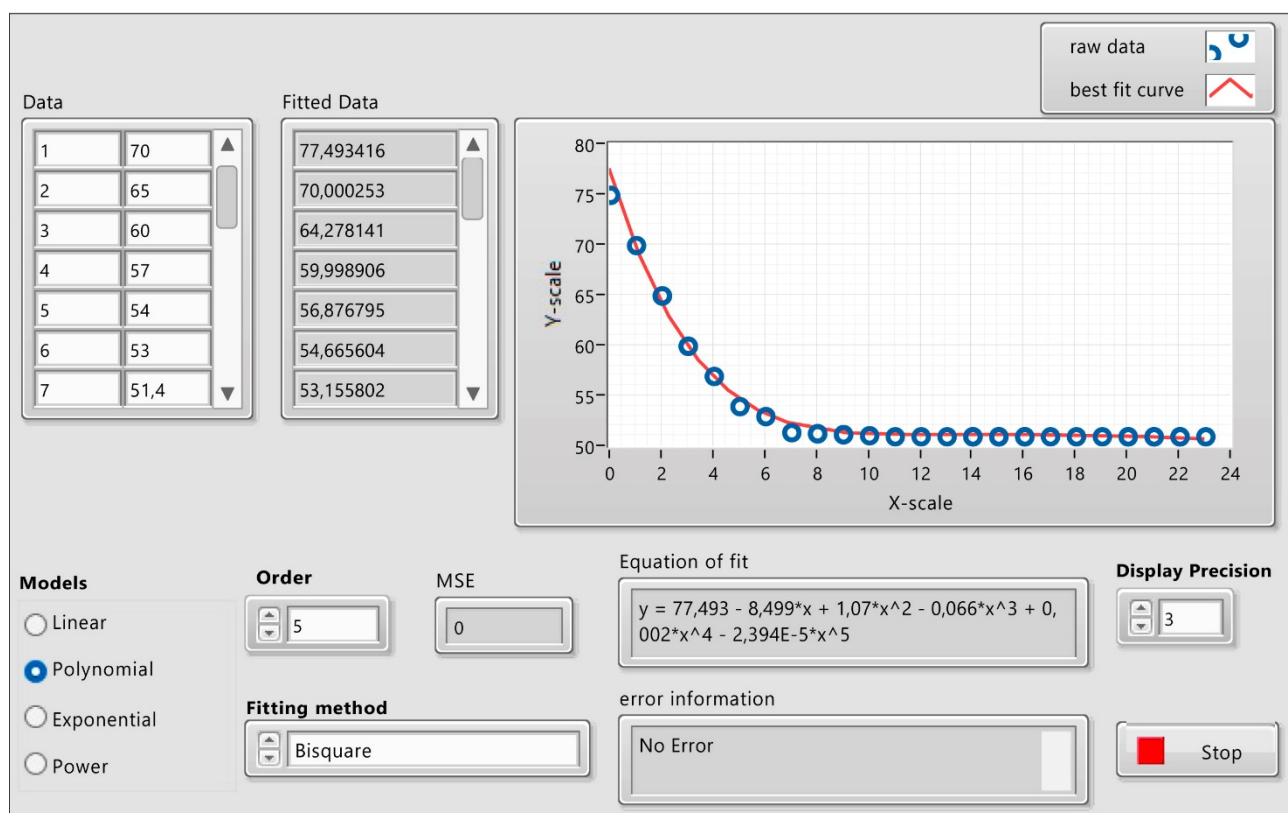
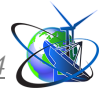


Рисунок 2 – Передня панель (інтерфейс) віртуального приладу для побудови формули регресії

Як видно з цього прикладу, спираючись на вигляд графіка залежності параметра від часу, можна вже робити висновок (якщо дослідження триває достатньо довго), що система поводить себе стабільно, тобто параметр поступово виходить на стаціонарний рівень. Можна також використати отримане рівняння регресії (в даному прикладі це $y = 77,493 - 8,499x + 1,07x^2 - 0,066x^3 + 0,002x^4 - 2,394E-5x^5$). Прирівнявши ліву частину допустимому пороговому значенню параметра та вирішивши рівняння, отримаємо оціночне значення довговічності зразка за цим параметром.



На рис.3 зображено блок-діаграму (програмний код) віртуального приладу для побудови формули регресії. Її вигляд свідчить про відкритість, наочність та компактність структури коду з використанням вищезгаданої програмної мови G.

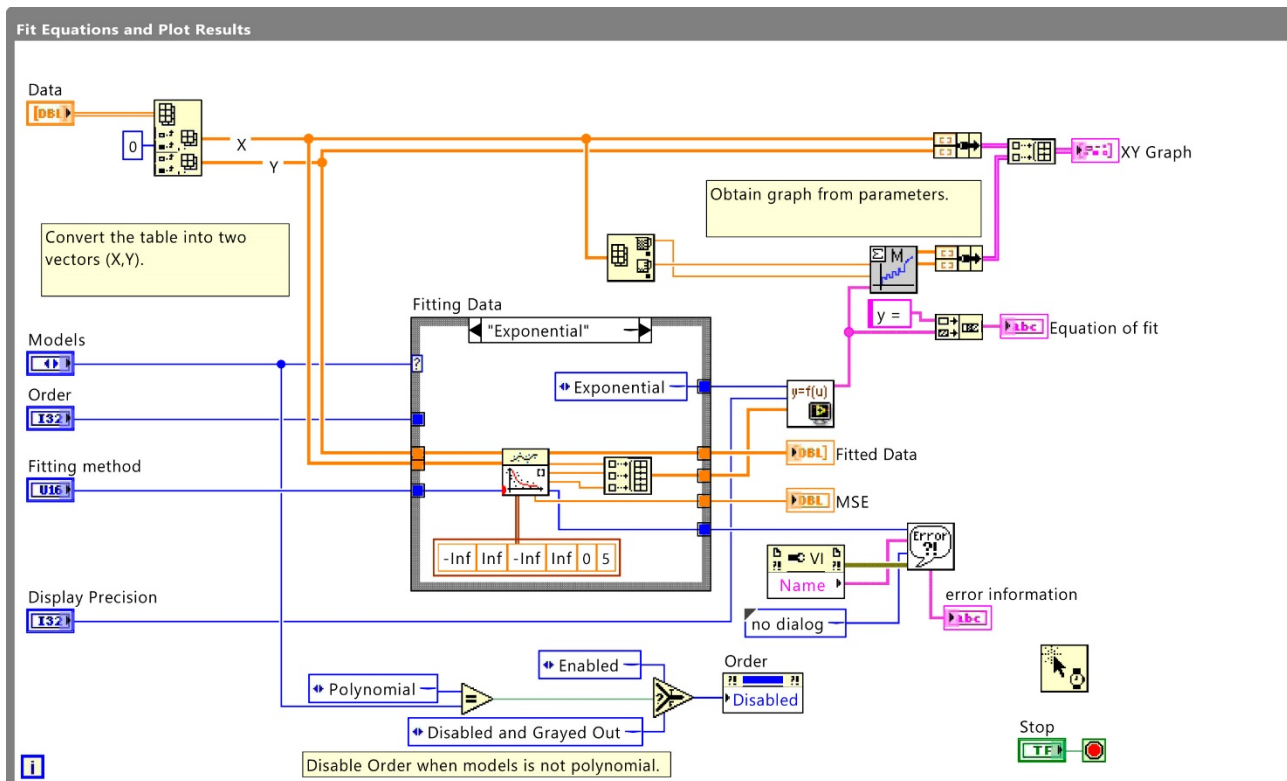


Рисунок 2 – Блок-діаграма віртуального приладу для побудови формули регресії

Серед критичних параметрів клапана слід відзначити, в першу чергу, величину зворотного потоку, що характеризує щільність закривання стулок. Безпосереднє вимірювання цього параметра на стенді вже дозволяє відбракувати неякісно виготовлені зразки. Але при порушеннях технології обробки матеріалу стулок, а також при дефектах форми каркасу або кріплення стулок до нього можливі ситуації, коли клапан почне погано закриватись з часом. Саме для виявлення таких тенденцій при тестуванні зразків призначена запропонована методика. Це ж стосується і інших критичних параметрів.

Звичайно, для виконання математично строгого дослідження такого роду треба ще статистичне обґрунтування та перевірка статистичної достовірності результатів. Це буде темою подальшої роботи.

Висновки.

В роботі обґрунтовано важливість тестування штучних клапанів серця на відповідність нормативам стандартів не лише статичних, а і динамічних параметрів, та запропоновано методику оцінок прогнозів щодо довговічності та стабільності функціонування таких виробів.

Наведено приклад реалізації такої методики в програмному середовищі NI LabVIEW через використання регресійного аналізу на сукупності даних при їх тривалих вимірюваннях.

**Література:**

1. Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика. — Київ : ВПЦ Київський університет, 2007. — 504 с.
2. Jeffrey Travis. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun / Jeffrey Travis, Jim Kring. – Prentice Hall, 2006. – 1032 p.
3. Офіційний сайт National Instruments (NI) [Електронний ресурс] // – Режим доступу до ресурсу: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-biomedical-toolkit-api-ref/page/lvbiomed/bio_med_image.html

***Abstract.** The relevance of topic of the work is related to the task of creating domestic samples of artificial heart valves. At the stage of research of possible options for valve flaps materials and forms of frames for their fastening, an important stage is their testing. There is a special automated stand that allows to measure the volumes and velocities of forward and reverse flows of liquid blood simulators through the valve, liquid pressure and other parameters. But all these parameters refer to the static characteristics of sample under study. Analysis of its behavior over time, in particular longevity prediction, is not provided for. The paper proposes a method of estimating the forecasts of the sample's durability parameters through the use of regression analysis on the set of data of their long-term measurements.*

***Key words:** artificial heart valve, testing, dynamic characteristics, NI LabVIEW, Regression.*

Article sent: 17.04.2024

© Solomin A.V.