

точності опрацювання результатів вимірювання об'ємної витрати газу турбінними лічильниками доцільно враховувати параметри потоку при оцінюванні сумарної похибки.

На другому етапі моделювання, а саме при визначенні умов кореляції, встановлено залежності між моделлю вимірювання об'ємної витрати турбінним лічильником газу та відібраними ключовими змінними. Для ключових змінних модуль коефіцієнта кореляції близький до одиниці, що ще раз доводить, що нехтувати жодним із параметрів моделі не можна (кореляційні залежності шукалися в середовищі Mathcad).

На етапі імовірнісного розподілу відібраних даних відповідно до протоколів вимірювань, де зазначалися характеристики газу, та паспортних даних турбінних лічильників (із врахуванням допусків) для кожного з параметрів формувалась вибірка даних із заданим рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  та областю допустимих значень. Наступним етапом було імітаційне прогнозування, внаслідок якого отримано цілий ряд значень моделі вимірювання ( $K$ ).

У результаті статистичного опрацювання вибірки даних імітаційного моделювання встановлено, закон розподілу значень моделі вимірювання турбінним лічильником об'ємної витрати – нормальний, при цьому довірчі межі становлять  $26526,01 \text{ імп/м}^3 \leq K \leq 26846,9 \text{ імп/м}^3$ .

#### Висновки

Застосування методу Монте-Карло дало можливість оцінити закон розподілу вимірювання турбінним лічильником об'ємної витрати, а також знайдено довірчі межі значення коефіцієнта перетворення для турбінного лічильника G250 на всьому діапазоні вимірювання. Це дасть змогу контролювати межі зміни коефіцієнта пере-

творення лічильника при його повірці чи калібруванні. Оцінювання довірчих меж здійснювалось із врахуванням того, що в реальних умовах турбінні лічильники застосовують у газовимірюваннях, саме тому враховувалися і параметри потоку газу, при цьому брали максимально допустимі значення допусків і відхилень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. R. E. Thompson. Turbine flowmeter performance model / R/E/ Thompson, J. Grey // Trans. ASME, J. Basic Eng. – 1970. – 92 (4). – 712–723 p.
2. Клочко Н. Б. Удосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу: дис. кандидата техн. наук: 05.01.02 / Клочко Наталія Богданівна. – Івано-Франківськ, 2014. – 158 с.
3. Statistical interpretation of data - Part 8: Determination of prediction intervals (ISO 16269-8:2004,IDT) – [valid from 2004-09-30]. – International Standart Organization, 2004. – 108p. – (International Standart).
4. Долішня Н.Б. Вдосконалення алгоритму опрацювання результатів вимірювання витрати природного газу турбінним лічильником газу / Н.Б. Долішня // Нафтогазова енергетика. – 2012. – № 2(18). – 127–131 с.
5. Оптимізація алгоритму опрацювання вимірювальної інформації турбінних лічильників газу при їх калібруванні / Н. Б. Клочко, Б. В. Долішний, Н. М. Піндус, С. А. Чеховський // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 6. – 58–61 с.
6. Wadlow D. Chapter 28.4 Turbine and vane flowmeters / Wadlow D., Webster J.G. // The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. – Boca Raton, FL: CRC Press. – Dec. 1998.

пост. 22.05.2017

**С.К. МЕЩАНИНОВ**, д.т.н. професор

**Б.П. ДОВГАЛЮК**, д.т.н. професор

**П.С. КУПРАЦЕВИЧ**, студент

**А.Ю. ПРОКОПЕНКО**, студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,

**А.В. ІВАНОВ**, інженер гемодіалізного відділення

КЗ Кам'янська міська лікарня № 7, м. Кам'янське

## Дослідження надійності функціонування апаратури гемодіалізного лікування

Розглянутий комплекс заходів що до підвищення надійності функціонування апаратури гемодіалізного лікування. Запропоновані рекомендації щодо вирішення цієї проблеми. Практично доведено, що впровадження додаткової лінії живлення значно зменшує вірогідність відмов гемодіалізного апарату.

#### Вступ

Надійність сучасної медичної апаратури є величезною, тому що на сьогоднішній день коло її використання стає все більш поширеним, від безвідмовної роботи цієї апаратури залежить життя людини, її здоров'я, майбутнє її дітей тощо.

Проблема надійності функціонування є особливо актуальною при розробці та експлуатації медичної апаратури, оскільки відмова такого обладнання пов'язана з ризиком нанесення шкоди здоров'ю пацієнтів, а також зниженням показників ефективності роботи лікувально-профілактичних закладів.

#### Постановка завдання

Головним завданням гемодіалізного лікування є корекція порушень електролітного складу крові і кислотно-лужного стану, адекватна дегідратація хворого і зниження азотемії. Ці завдання вирішуються за допомогою методів дифузії та ультрафільтрації при контакті крові пацієнта з діалізуючим розчином, через напівпроникну мембрану діалізаторів в апараті «штучна нирка». Для хворих, які страждають на ниркову недостатність, такий апарат є життєво необхідним, а проблеми в стабільній і ефективній роботі даних апаратів є досить актуальними.

Нестабільна і неефективна робота апаратів штучної нирки може спричинити не тільки втрату часу і коштів на обслуговування, а також може призвести до шокowego стану пацієнта, а в окремих випадках навіть до смерті. Різноманітні відмови тягнуть за собою підвищену увагу медичного персоналу, не тільки за апаратом але і за хворим, тобто проблема ненадійності висуває нові вимоги до роботи даної апаратури. Одним з перших кроків вирішення цієї проблеми є зменшення ймовірності відмови апаратури, що можливо на основі використання набору інформативних параметрів контролю всіх процесів діалізу. Таким чином, метою роботи є розробка рекомендацій для підвищення надійності функціонування апаратури «штучна нирка».

### Результати роботи

Надійність роботи сучасної електронної апаратури визначається багатьма факторами (удари, вібрація, перевантаження, температурний режим, вологість, кваліфікація обслуговуючого персоналу, тощо). Відповідно до цих факторів можна розрізнити і методи підвищення надійності [1]. Всі методи підвищення надійності принципово можуть бути зведені до наступних основних:

- резервування та дублювання програмної частини;
- зменшення інтенсивності відмов системи шляхом удосконалення окремих вузлів;
- скорочення часу безперервної роботи;
- зменшення середнього часу, потрібного на ремонт.

Підвищити надійність апаратури в процесі її експлуатації надзвичайно важко. Це пояснюється тим, що надійність системи в основному закладається при її проектуванні і виготовленні, а при експлуатації надійність тільки зменшується. Швидкість її зменшення залежить від методів та умов експлуатації, кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  — це відношення числа об'єктів, що відмовили в одиницю часу до середнього числа об'єктів, надійно працюючих в даний відрізок часу, за умови, що об'єкти, які відмовили, не відновлюються і не замінюються справними(1).

$$\lambda(t) = \frac{n}{N \cdot \Delta t} \left[ \frac{1}{\text{час}} \right], \quad (1)$$

де  $n$  — число відмов на інтервалі напрацювання  $\Delta t$ ;  $N = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$  — середнє число об'єктів, які справно працювали в інтервалі часу  $\Delta t$ ;  $N_i$  — число виробів, які працювали на початку інтервалу  $\Delta t$ ;  $N_{i+1}$  — число об'єктів, справно працюючих в кінці інтервалу часу  $\Delta t$ .

Зменшити інтенсивність відмов системи можна за допомогою таких дій [1]:

- спрощення конструкції;
- вибір найбільш надійних елементів серед існуючих;
- оптимізація електричних, механічних, теплових та інших режимів роботи елементів;
- створення схем з обмеженими та прогнозованими наслідками відмов елементів;
- стандартизація і уніфікація елементів і вузлів;
- вдосконалення технології виробництва та статистичний контроль якості продукції;

- проведення профілактичних заходів при експлуатації апаратури, спрямованих на попередження відмов.

Середній час відновлення  $T_g$  — показник, що характеризує ремонтпридатність технічного пристрою. Він дорівнює математичному очікуванню часу відновлення його працездатності (2).

$$T_g = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i}{m}, \quad (2)$$

де  $\tau_i$  — статистичні дані про тривалість відновлення  $m$  об'єктів, включаючи час пошуку причин відмови.

Зменшити середній час відновлення можна шляхом підвищення надійності системи або скорочуючи час, необхідний для пошуку і усунення відмов. Останній можна скоротити за допомогою схем вбудованого контролю, автоматизації перевірок, підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Зменшити час безперервної роботи автоматичної системи можна в тому випадку, якщо є можливість вимкнути систему на певний проміжок часу, не порушуючи процесу управління.

Для спрощення виявлення несправностей та підвищення ремонтпридатності, апарат штучної нирки має модульну структуру та поділений на структурні блоки. Конструктивно апарати штучної нирки складаються з таких основних блоків (рис 1):

- блок гідравліки (БГ);
- блок управління (БУ);
- блок живлення (БЖ);
- блок керування та індикації (БКІ);
- блок контуру крові (БКК).

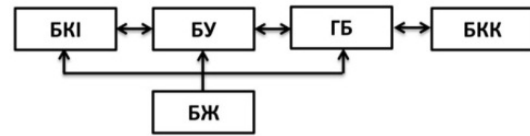


Рис. 1. Структурна схема апарату гемодіалізу Bellco Formula 2000

Блок живлення виконує функцію забезпечення напругою усіх електронних та електромеханічних вузлів апарату.

Блок керування та індикації призначений для зв'язку типу Оператор - Обладнання.

Блок управління є "мозком" апарату, який керує роботою всіх його систем, контролює роботу вузлів, здійснює моніторинг всіх параметрів під час процедури гемодіалізу. Завданням блоку процесора є моніторинг осмотичної концентрації діалізної рідини, контроль за артеріальним і венозним тиском, регулювання швидкості потоку діалізної рідини, температурний моніторинг, контроль за появою повітря в контурі крові, контролювання роботи насоса крові і гепаринового насоса.

Гідравлічний блок необхідний для підготовки та подачі діалізної рідини в діалізатор, а також для проведення процедури ультрафільтрації. У складі блоку гідравліки є датчики електропровідності і температури, датчик трансмембранного тиску (ТМР), детектор крові у діалізованому розчині, а також специфічні датчики для кожної конкретної моделі апарату «штучна нирка», які

здійснюють моніторинг роботи системи гідравліки та насосів і pomp, які входять до її складу.

Сучасні апарати гемодіалізу, завдяки вбудованому програмному забезпеченню, перед процедурою запуску діалізу здійснюють процедуру самотестування. Гідравлічні тести моделюють розбалансування апарату і перевіряють реакцію системи захисту, в той час як електричні перевіряють цілісність програмного забезпечення та контрольну суму (CRC) пристроїв пам'яті. Перехід до режиму самотестування відбувається автоматично. В кожному тесті апарат створює критичну ситуацію з виникненням тривожних сигналів і перевіряє реакцію систем безпеки. Несправності фіксуються в пам'яті і виводяться на дисплей у вигляді коду помилок. За статистичними даними журналу технічного контролю медичного обладнання гемодіалізного відділення КЗ Кам'янська міська лікарня № 7 найбільш часто виникають проблеми у наступних структурних блоках:

- блок гідравліки (20,14 %);
- блок управління (53,47 %);
- блок живлення (24,54 %);
- блок керування та індикації (0,13 %);
- блок контуру крові (1,72 %).

У процесі роботи апарату найчастіше виникають наступні помилки:

- невідповідність референтних напруг у блоці живлення;
- відсутність потоку діалізної рідини в контурі гідравліки (флоуметр, кондуктометр);
- збій блоку управління, внаслідок помилок у програмному забезпеченні апарату штучної нирки;
- відсутність стабільності параметрів потоку;
- відмова одного або декількох електромагнітних клапанів;
- відсутність випрямлення мережевого живлення;
- відхилення головної напруги 26 В більш ніж на 15 %.

Серед приведених помилок однією з найважливіших є відхилення головної напруги 26 В, яка може спричинити шкоду здоров'ю пацієнта та необхідність починати процедуру діалізу спочатку. Для розробки рекомендацій розглянемо основні причини виникнення помилки. До них належать:

- несправність блоку живлення;
- несправності блоку управління.

**Несправність блоку живлення.** Для розгляду проблем, пов'язаних з блоком живлення, розглянемо його структуру. Конструктивно блок живлення складається з 5 блоків, кожний з яких виконує певну функцію. На рис. 2 наведена структурна схема блоку живлення апарату гемодіалізу Bellco Formula 2000



Рис. 2. Структурна схема блоку живлення апарату гемодіалізу Bellco Formula 2000

Причинами виникнення помилки у блоці живлення є:

- нестабільність вхідної напруги;
- несправність у окремих вузлах блоку живлення.

Характеристики електромережі є нестабільними, що обумовлено багатьма різними причинами: зношеність обладнання в системі електропостачання; перенавантаження мережі; погана якість робіт чи помилки персоналу при обслуговуванні та ремонті; вплив на електромережу різних споживачів енергії в моменти їх роботи, включення та відключення, тощо [2].

Таким чином, внутрішні схеми обладнання постійно зазнають перенавантаження, викликані спотвореннями вхідної напруги. Частина перешкод фільтрується внутрішніми системами захисту і не впливає на роботу відразу, але значно скорочує період експлуатації обладнання.

Внутрішні несправності блоку живлення найчастіше виникають у блоці імпульсного стабілізатора в колах випрямлення і стабілізації напруги, які виникають через роботу в досить навантаженому режимі, як електричному, так і тепловому.

**Несправності блоку керування.** Електронні модулі управління найбільш часто виходять з ладу через перевантаження напруги (коротке замикання у колі) або через постійний перегрів обладнання, удари, корозію. На рисунку 3 наведена структурна схема блоку управління апарату гемодіалізу Bellco Formula 2000.



Рис. 3. Структурна схема блоку управління апарату гемодіалізу Bellco Formula 2000

Причини виникнення помилки відхилення 26 В, пов'язаної з роботою блоку управління є наступні:

- вихід з ладу транзисторних ключів, виконуючих функцію розподілення живлення між блоком гідравліки і мікропроцесорного блоку;
- вихід з ладу перетворювачів рівнів напруги;
- збій датчика визначення напруги 26 В.

Вихід з ладу транзисторних ключів та перетворювачів рівнів на платі Analogic, може спричинити неправильне керування гідравлічною частиною апарату, а збій датчика визначення напруги — вихід з ладу елементів мікропроцесорного блоку. Основними причинами приведених несправностей є нестабільна робота блоку живлення, невідповідність параметрів відповідних елементів технічним умовам, виникаючим при роботі пристрою, високий час безперервної роботи.

**Розробка рекомендацій.** В результаті аналізу даної проблеми було розроблено наступні рекомендації по підвищенню надійності апарату:

1. Створити додаткову лінію напруги 5.15 В у блоці живлення;

2. Розробити систему охолодження для стабілізації температурного режиму роботи випрямлячів;

3. Забезпечити використання джерела безперебійного живлення;

4. Підвищити частоту періодичних технічних перевірок.

#### Аналіз наведених рекомендацій

Для якісної оцінки наведених рекомендацій проведено аналіз їх впливу на роботу апарату.

1) Впровадження лінії напруги 5.15 В призведе до спрощення принципової схеми БУ, що позитивно відобразиться на надійності системи керування апарату. Практично доведено, що впровадження додаткової лінії значно зменшує вірогідність відмов апарату (рис 4). Оскільки виникнення помилки призводить до перезавантаження апарату та процедури діалізу, зменшення вірогідності виникнення помилки дозволяє зменшити витрати матеріалів для проведення діалітичної процедури та зменшити періодичність технічного обслуговування, що призводить до підвищення економічної ефективності відділень гемодіалізу.

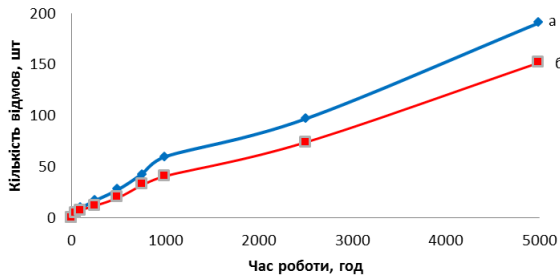


Рис. 4. Графік залежності кількості відмов апарату: а) залежність до виконання запропонованих рекомендацій; б) залежність відмов апарату з впровадженням запропонованих рекомендацій

2) Відповідно до даних журналу технічного контролю медичного обладнання гемодіалізного відділення КЗ Кам'янська міська лікарня № 7 ймовірність вини-

кнення помилки пов'язаної з виходом з ладу випрямлячів блоку живлення в літній період на 40 % більше, ніж в зимовий. Це в першу чергу пов'язано з температурним режимом роботи пристрою, оскільки різниця температур всередині апарату в літній і зимовий час року становить близько 15°C. Розробка системи охолодження повинна привести до полегшення температурного режиму роботи випрямлячів, що зменшить частоту їх виходу з ладу.

3) Використання джерела безперебійного живлення дозволяє забезпечити стабілізоване вхідне живлення та захист апарату від зовнішніх спотворень електромережі, що зменшує вірогідність виходу з ладу внутрішнього обладнання.

4) Підвищення частоти періодичних технічних перевірок дозволяє виявити основні видимі несправності на стадії їх появи в системі і усунути їх, що призводить до зменшення числа серйозних поломок апаратури і відповідно витрат на її ремонт.

#### Висновки

– Запропоновано рекомендації відносно покращення ефективності роботи та зменшення кількості відмов в роботі пристрою;

– Виконано моделювання змін функціонування апарату «штучна нирка» при виконанні запропонованих рекомендацій;

– Практично доведено, що впровадження додаткової лінії значно зменшує вірогідність відмов гемодіалітичного апарату.

#### ЛІТЕРАТУРА

- Бакижанова Д.С. Аналіз методів підвищення надійності складних систем / Д.С.Бакижанова, М.Г.Сарбасов, Н.А.Данияров – Матеріали VIII міжнародної наукової конференції "Наука та освіта – 2013", Астана, 2013.
- Уразбахтіна Ю.О. Інтелектуальна система контролю живлення гемодіалітичного апаратури / Ю.О.Уразбахтіна, Е.С.Хрусталева – Вістник УГАТУ 2008 №1. С. 166–173.

пост. 29.05.2017