

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра робототехніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ МЕХАТРОННОЇ
РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АПАРАТА
ADVIA CENTAUR CP**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМ(МОРВС)-42

Недопад Олег Григорович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту

«___» _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Придальний Борис Іванович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Транспорту та механічної інженерії

Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Недопаду Олегу Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Вдосконалення механізмів мехатронної роботизованої системи апарата ADVIA Centaur CP,*

Керівник роботи: *Четвержук Тарас Іванович, к.т.н., доцент,*

затверджена наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р., № 962/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Конструкторсько-технологічна документація, відгуки підприємства про роботу обладнання, нормативні дані, паспорт апарата ADVIA Centaur CP.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)

Вступ. 1. Оглядний розділ, 2. Технологічний розділ, 3. Конструкторський розділ, 4. Охорона праці, 5. Висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 3.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Оглядовий розділ	01.04.2026	
2.	Технологічний розділ	28.04.2026	
3.	Конструкторський розділ	05.05.2026	
4.	Охорона праці	20.05.2026	
5.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат		
6.	Представлення роботи до захисту	05.06.2026	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Недопад О.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Четвержук Т.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Недопад О.Г. Вдосконалення механізмів мехатронної роботизованої системи апарата ADVIA Centaur CP. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літературних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

У роботі досліджено конструкцію, функціональні можливості та напрями вдосконалення механізмів мехатронної роботизованої системи автоматизованого імунохемілюмінесцентного аналізатора ADVIA Centaur CP.

Предметом дослідження є механізми транспортування кювет, дозування реагентів, переміщення проб, промивання, інкубації та фотоелектричного вимірювання світлового сигналу, а також їх узгодження засобами електронного керування.

У практичній частині виконано інженерний аналіз робочого циклу системи, визначено вузли, що найбільше впливають на продуктивність, точність і надійність, та запропоновано комплекс рішень з удосконалення.

Ключові слова: мехатронна система, роботизований аналізатор, хемілюмінесценція, фотопомножувач, кювета, дозування, інкубація, люмінометр, ADVIA Centaur CP

ABSTRACT

NEDOPAD O. Improvement of the mechanisms of the mechatronic robotic system of the ADVIA Centaur CP apparatus. Manuscript.

Bachelor's qualification work of EP «Applied Mechanics» specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of literature sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The thesis examines the design, functional capabilities and ways of improving the mechanisms of the mechatronic robotic system of the automated immunochemiluminescent analyzer ADVIA Centaur CP.

The subject of the study is the mechanisms of cuvette transportation, reagent dispensing, sample movement, washing, incubation and photoelectric measurement of the light signal, as well as their coordination by means of electronic control.

The practical value of the thesis lies in forming a holistic approach to upgrading a laboratory analyzer from the standpoint of mechatronics, robotics and technical operation.

Keywords: mechatronic system, robotic analyzer, chemiluminescence, photomultiplier, cuvette, dispensing, incubation, luminometer, ADVIA Centaur CP.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1. Мехатронні лабораторні системи як об'єкт інженерного удосконалення	9
1.2. Фізико-технологічні основи імунохемілюмінесцентного аналізу...	12
1.3. Конструктивні та функціональні особливості ADVIA Centaur CP..	15
1.4. Аналіз ключових вузлів мехатронної системи	19
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	23
2.1. Аналіз робочого циклу та слабких місць системи.....	23
2.2. Напрями вдосконалення механізмів та алгоритмів керування	26
2.3. Очікуваний технічний ефект від модернізації	30
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	33
3.1. Дезактивація системи.....	33
3.2. Розбирання системи.....	36
3.3. Опис вдосконаленого апарата та технологічного процесу.....	37
3.4. Структурно-компонувальна схема апарата.....	41
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	45
4.1. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та навколишнього середовища.....	45
4.2. Аналіз об'єкта дослідження з точки зору безпеки праці.....	46
4.3. Запроектовані заходи та технічні рішення для ліквідації та зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	46
4.4. Запроектовані заходи протипожежної профілактики.....	48
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ	53

ВСТУП

Сфера клінічної лабораторної діагностики в останні роки розвивається у напрямі поглибленої автоматизації, підвищення точності результатів і скорочення залежності якості аналізу від дій оператора. У таких умовах особливу роль відіграють мехатронні роботизовані системи, у яких механічні вузли, сенсори, виконавчі приводи, електронні модулі та програмне керування функціонують як єдиний узгоджений комплекс. Саме така організація роботи дозволяє забезпечити стабільність циклу аналізу, точність дозування, повторюваність операцій і коректне позиціонування робочих елементів.

Аналізатор ADVIA Centaur CP [1-3] належить до класу автоматизованих імунологічних систем, що використовуються для виконання лабораторних досліджень In Vitro на основі прямої хемілюмінесцентної технології. З інженерної точки зору цей апарат становить інтерес як багатомодульна система, у якій узгоджуються процеси подачі зразків, дозування реагентів, переміщення кювет, інкубації, промивання та фотоелектричного вимірювання сигналу. Ефективність його роботи визначається не окремим вузлом, а точністю взаємодії всіх складових у межах єдиного технологічного процесу.

Актуальність теми полягає в тому, що підвищення ефективності сучасного лабораторного обладнання дедалі частіше досягається не повною заміною апарата, а цілеспрямованим удосконаленням окремих механізмів, систем контролю стану та алгоритмів керування. Для імунологічного аналізатора особливо важливими є точність подачі проб і реагентів, стабільність руху кювет, надійність промивання, витримування температурного режиму та достовірність роботи вимірювального каналу. Тому аналіз ADVIA Centaur CP з позицій модернізації його мехатронної системи є практично значущим інженерним завданням.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є мехатронна роботизована система аналізатора ADVIA Centaur CP. Предметом дослідження виступають механізми транспортування, дозування, промивання, інкубації та фотоелектричного вимірювання, а також їх узгоджена робота в межах автоматизованого процесу імунохемілюмінесцентного аналізу. Метою роботи є розроблення технічно обґрунтованих пропозицій щодо вдосконалення механізмів апарата ADVIA Centaur CP на основі аналізу його будови, принципу дії та експлуатаційних обмежень [3].

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких завдань: охарактеризувати місце мехатронних лабораторних систем у сучасній діагностиці; розкрити фізико-технологічні основи хемілюмінесцентного методу; дослідити конструктивну побудову та технічні параметри ADVIA Centaur CP; проаналізувати роботу основних функціональних вузлів системи; визначити критичні точки, що впливають на продуктивність, надійність і точність; запропонувати напрями вдосконалення механізмів та алгоритмів керування; узагальнити очікуваний технічний ефект від модернізації.

Методологічною основою роботи є системний аналіз мехатронних комплексів, функціонально-структурний підхід до оцінювання роботи апарата, інженерне моделювання робочого циклу, порівняльний аналіз функцій окремих вузлів та експертне оцінювання можливих шляхів модернізації. Інформаційну базу дослідження становлять технічні та сервісні матеріали щодо ADVIA Centaur CP, відомості про будову системи та місткість витратних ресурсів, а також навчально-методичні матеріали, використані для формування структури пояснювальної записки [15].

Науково-практична новизна роботи полягає у систематизації можливих шляхів підвищення ефективності аналізатора через удосконалення механізмів транспортування, дозування, контролю стану та координації вузлів. Робота спрямована не на зміну принципу хемілюмінесцентного

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

аналізу, а на виявлення тих елементів конструкції, модернізація яких може забезпечити найбільший ефект за показниками точності, стабільності циклу, сервісопридатності та надійності.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані як основа для технічного доопрацювання аналізатора, удосконалення процедур сервісної діагностики або порівняльного оцінювання аналогічних лабораторних платформ.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1. Мехатронні лабораторні системи як об'єкт інженерного удосконалення

У сучасному інженерному розумінні мехатронна система являє собою інтегровану сукупність механічних елементів, сенсорики, виконавчих приводів, електронного керування та програмної логіки, які працюють узгоджено для виконання заданого технологічного процесу. У випадку лабораторного обладнання це означає, що проведення аналізу є не окремою дією, а послідовністю точно координованих операцій: подачі носія, відбору проби, внесення реагенту, переміщення кювети, інкубації, промивання, вимірювання та видалення відходів. Якщо всі ці етапи реалізуються автоматично в межах одного апарата, такий комплекс доцільно розглядати як роботизовану мехатронну систему [12].

Особливість лабораторних мехатронних систем полягає в тому, що вони працюють з малими об'ємами рідин, біологічно активними речовинами та високочутливими методами вимірювання. Через це вимоги до їх функціонування мають комплексний характер: переміщення повинні бути точними, але плавними; приводи – швидкими, але без надлишкових вібрацій; датчики – чутливими, але стійкими до різкої зміни параметрів; програмне керування – гнучким, але передбачуваним. Навіть незначне порушення траєкторії руху, нестабільність приводу або зміщення геометрії позиціонування можуть впливати не лише на технічний стан системи, а й безпосередньо на достовірність аналітичного результату.

Для роботизованих аналізаторів імунологічного типу найбільш характерними ознаками мехатронності є модульна побудова [4], відносно просте керування та паралельність виконання операцій. Модульний принцип

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

означає розподіл системи на функціонально завершені вузли: зразковий відсік, реагентний модуль, транспортний контур кювет, інкубаційну зону, станцію промивання, вимірювальний вузол, рідинну систему та електроніку керування. Подієве керування забезпечує реакцію на сигнали датчиків, стан дверцят, наявність витратних матеріалів, зчитування штрих-кодів і зміну режимів роботи. Паралельність виконання дає змогу поєднувати аналіз, дозавантаження ресурсів і контроль стану без повної зупинки системи.

Для інженерного удосконалення лабораторної мехатронної системи важливо враховувати не лише паспортні характеристики, а й структуру взаємозалежностей між вузлами [4]. Якщо, наприклад, підвищити швидкість подачі кювет без відповідного покращення контролю їх орієнтації, можна збільшити кількість застрягань. Якщо збільшити інтенсивність змішування реагентів без контролю температури, можна змінити умови реакції. Якщо лише алгоритмічно пришвидшити STAT-обслуговування, але не відкоригувати чергу доступу до інкубаційного кільця, реального скорочення часу першого результату не відбудеться. Тому модернізація повинна мати системний характер.

Ще однією характерною рисою таких комплексів є поєднання вимог точного машинобудування з вимогами аналітичної хімії та медичної діагностики. Механізм, який для промислового автомата вважався б достатньо точним, у лабораторному аналізаторі може бути неприйнятним через мікролітрові дози, різну в'язкість рідин або необхідність уникнення перехресного забруднення. Це означає, що в центрі інженерного аналізу повинні бути не тільки абсолютні значення продуктивності, а й стабільність повторення циклів, відповідність умов інкубації, точність траєкторій та мінімізація ризиків контамінації [12].

З погляду сервісу мехатронні лабораторні системи також мають специфіку. Через значну кількість датчиків, насосів, трубок, приводів і електронних плат їх працездатність багато в чому визначається якістю

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

самодіагностики. Якщо система здатна заздалегідь виявити тенденцію до відмови – наприклад, погіршення проходження рідини, зростання темного струму фотопомножувача, зменшення швидкості насоса або нестабільність температурного контуру, – то сервісна дія може бути виконана до появи критичної помилки. Таким чином, вдосконалення мехатронної системи майже завжди пов'язане з підсиленням функцій моніторингу стану.

У випадку ADVIA Centaur CP (рисунок 1.1) ці загальні положення проявляються дуже чітко.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ADVIA Centaur CP

Апарат побудований як комплекс взаємопов'язаних модулів, здатний без паузи дозавантажувати зразки, реагенти, кювети та наконечники, виконувати до 180 тестів за годину й підтримувати роботу з різними групами аналізів. Саме тому він є придатним об'єктом для дослідження з позицій

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

модернізації: його архітектура достатньо складна, щоб показати міжвузлові залежності, і водночас достатньо структурована, щоб виділити конкретні механізми для вдосконалення.

1.2. Фізико-технологічні основи імунохемілюмінесцентного аналізу

Імунохемілюмінесцентний аналіз [1] ґрунтується на поєднанні специфічної взаємодії антигенів і антитіл із реєстрацією світлового сигналу, що виникає в результаті хімічної реакції (рисунок 1.2). У процесі дослідження визначається речовина із біологічної проби взаємодіє з компонентами реагентної системи, унаслідок чого формується комплекс, кількість якого пов'язана з концентрацією аналіту. Після завершення основних стадій реакції система реєструє інтенсивність світіння, а отриманий сигнал перетворюється у числовий результат, придатний для подальшої обробки.

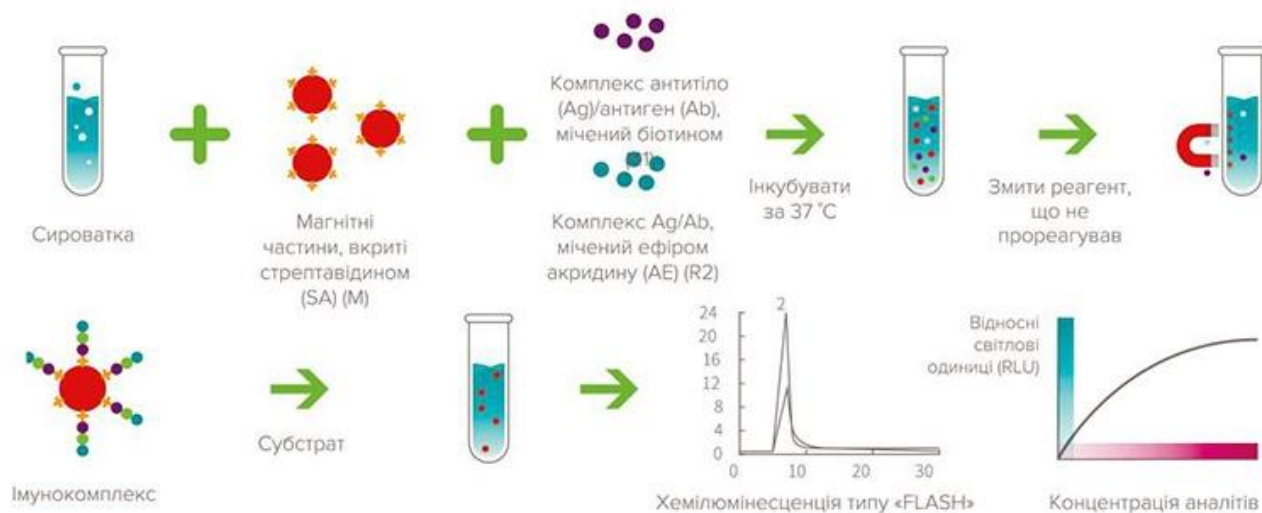


Рисунок 1.2 – Процес імунохемілюмінесцентного аналізу

З фізичної точки зору хемілюмінесценція є процесом випромінювання фотонів під час переходу молекул із збудженого стану до основного без використання зовнішнього джерела освітлення. Для лабораторних вимірювальних систем це є суттєвою перевагою, оскільки спрощує побудову

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

оптичного каналу та зменшує вплив стороннього освітлення. Водночас висока чутливість такого методу висуває підвищені вимоги до інших вузлів апарата: точності подачі реагентів, чистоти кювет, стабільності часової координації процесу, рівня шуму фотоприймального тракту та надійності механізмів, що забезпечують вимірювальний цикл.

З хімічної точки зору даний процес відбувається наступним чином та представлений на рисунку 1.3. Цільова молекула (антиген) специфічно зв'язується з антитілом. Одне з антитіл попередньо прикріплюється до твердої фази (наприклад, магнітних мікрочастинок), а інше – ковалентно зв'язується (кон'югується) з молекулою-міткою (люмінофором, найчастіше похідними акридину, люмінолу або ізолюмінолу).

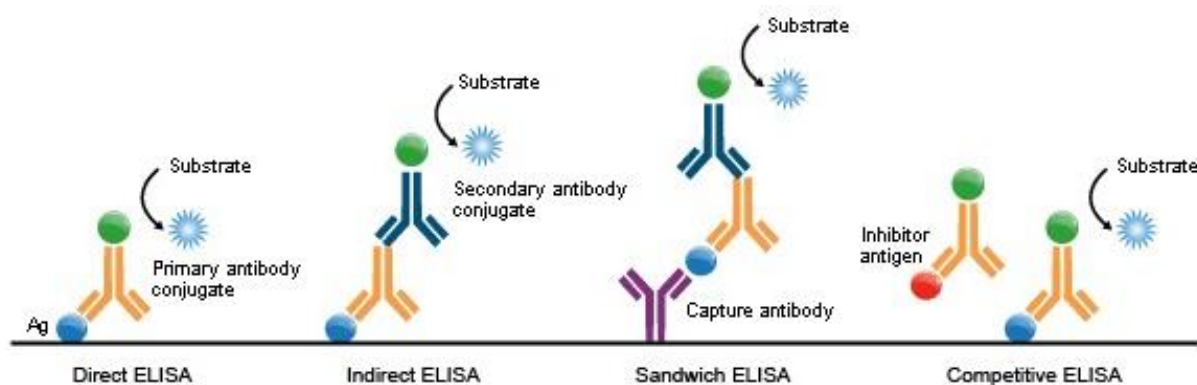


Рисунок 1.3 – Хімічна реакція імунохемілюмінесцентного процесу

У системі ADVIA Centaur CP [2] прямі хемілюмінесцентні технології застосовуються для виконання широкого спектра імунологічних аналізів. Це означає, що одна мехатронна платформа має стабільно працювати з різними реагентними наборами, тривалостями інкубації та рівнями інтенсивності сигналу. Саме тому для такого аналізатора особливого значення набуває не лише хімічна частина методу, а й точність реалізації всього фізичного шляху проби: від моменту ідентифікації та дозування до етапу реєстрації світіння.

Технологічно повний цикл аналізу включає декілька етапів. Спочатку виконується ідентифікація проби та реагентів за штрих-кодами. Далі зонди аспірують необхідні об'єми зразка і реагентів та дозують їх у кювету. Після цього кювета транспортується в інкубаційне кільце, де підтримується температура 37°C і відбувається формування специфічних імунних комплексів. На наступних етапах здійснюється промивання, магнітне розділення частинок, якщо це передбачено реагентною схемою, та введення тригерних компонентів, необхідних для появи світлового сигналу. Завершальним кроком є вимірювання інтенсивності випромінювання фотопомножувачем і перетворення результату в умовні світлові одиниці, які далі обробляються електронікою керування.

Ключовою перевагою хемілюмінесцентного методу є висока чутливість. Світловий сигнал може бути дуже малим, але саме тому фотоприймальний тракт повинен мати високе співвідношення сигнал/шум. У сервісному описі системи зазначено, що люмінометр містить фотопомножувальну трубку, а процес вимірювання передбачає дозоване додавання основи в момент реєстрації світіння. Така організація вимагає жорсткої синхронізації між механікою подачі кювети, насосом введення основи та електронікою зчитування. Якщо хоча б один з цих елементів працює з часовим зсувом, форма та амплітуда сигналу можуть змінитися.

Ще одна особливість методу полягає у критичності чистоти та стабільності поверхонь [11]. Будь-які залишки рідин у зонді, на стінках кювети чи у промивальному тракті можуть змінити склад реакційного середовища або викликати перехресне забруднення. Через це в роботі аналізатора велике значення мають станція промивання, водяні та вакуумні насоси, витратні наконечники та контроль статусу відходів. У документі про системні компоненти окремо виділено рідинні тракти, контейнери DI water, Wash 1 та liquid waste, що підкреслює їх структурну значущість.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Для лабораторного інженера важливо розуміти, що точність хемілюмінесцентного аналізу формується не лише хімією набору реагентів, а й мехатронною дисципліною апарата. Точність дозування, сталість температури, коректність черговості введення реагентів, швидкість і чистота промивання, відсутність вібрацій при реєстрації та надійне затемнення вимірювальної камери є такими ж значущими умовами, як і біохімічна специфічність реакції. Саме тому вдосконалення механізмів ADVIA Centaur CP слід оцінювати насамперед через їх вплив на точність реалізації фізико-хімічного методу [12].

Отже, імунохемілюмінесцентний аналіз у межах автоматизованої системи є міждисциплінарним процесом, де якість результату народжується на стику хімії, оптики, мехатроніки та алгоритмів керування. Такий підхід виправдовує подальший детальний розгляд конструкції апарата як цілісної роботизованої системи.

1.3. Конструктивні та функціональні особливості ADVIA Centaur CP

ADVIA Centaur CP, який представлений на рисунку 1.3 є комплексним автоматизованим імунологічним аналізатором, призначеним для виконання лабораторних досліджень у клінічному середовищі. З конструктивної точки зору це багатовузлова мехатронна система, у якій поєднані механізми подачі зразків, зберігання та відбору реагентів, транспортування кювет, інкубації, промивання, вимірювання та електронного керування. Така побудова забезпечує виконання значної кількості тестів у межах одного робочого циклу без постійного втручання оператора [6].

За своїми габаритами та функціональним наповненням ADVIA Centaur CP належить до стаціонарних лабораторних систем середнього класу продуктивності. Його конструкція передбачає щільне компонування вузлів у корпусі з одночасним збереженням доступу до основних зон обслуговування. Окремо до системи входить робоча станція з комп'ютером і засобами

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

взаємодії з оператором, що формує повноцінний людино-машинний комплекс.

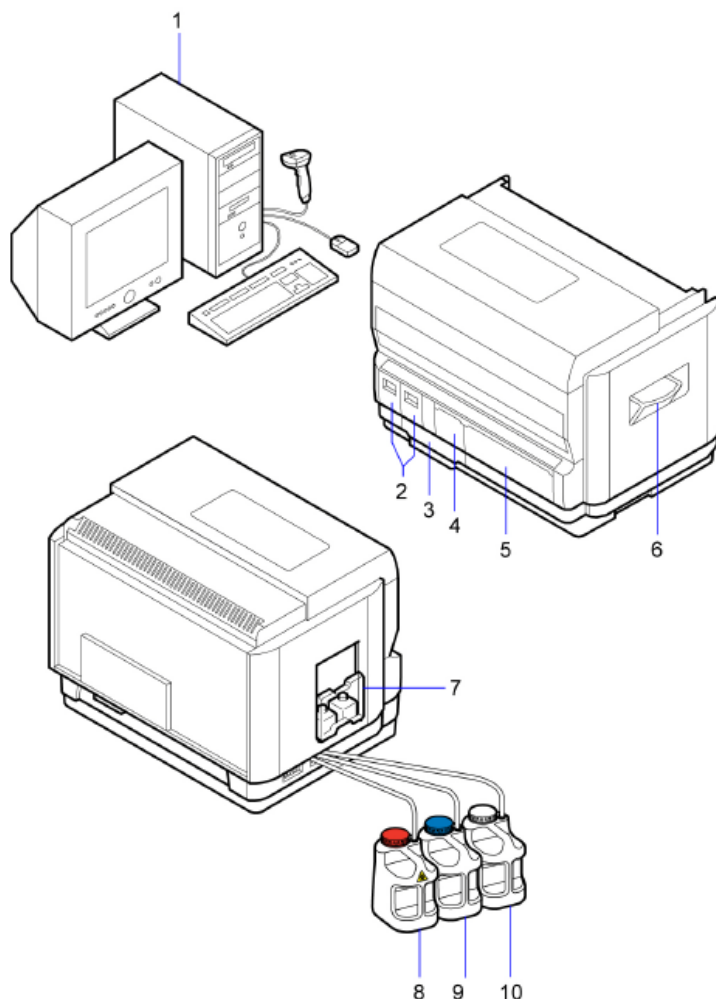


Рисунок 1.4 – Компонування та розташування основних підсистем і компонентів пристрою ADVIA Centaur CP.

Зовнішня компоновка апарата організована таким чином, щоб спростити виконання щоденних операцій і сервісного доступу. На передній частині розміщено відсік для зразків, реагентний модуль, шухляди з наконечниками, зону твердих відходів і елементи індикації стану. Окремі частини корпусу забезпечують доступ до вузла подачі кювет і до реагентів, необхідних для фінальних стадій вимірювання. З тилового боку виведено силові, комунікаційні та рідинні підключення. Подібна схема компоновки дозволяє чітко розмежувати зони регулярного обслуговування,

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

технологічного доступу та сервісних підключень. Згідно рисунка 1.4 наведено основні конструктивні компоненти і вузли цього апарату: 1– Робоча станція; 2 – Шухляди для наконечників; 3 – Шухляда для твердих відходів; 4 – Відсік зразків; 5 – Відсік для реагентів 6 – Контейнер для завантаження кювет; 7 – Відсік для кислотних і основних реагентів; 8 – Контейнер для відходів; 9 – Контейнер для деіонізованої води; 10 – Контейнер для промивального засобу.

Важливою особливістю ADVIA Centaur CP є орієнтація на тривалу автономну роботу. Місткість бункерів, лотків і контейнерів для витратних матеріалів (в переважній кількості моделей це 7,5 л.) підібрана так, щоб апарат міг виконувати серії досліджень без частого втручання оператора. З інженерної точки зору це означає, що система повинна не лише механічно переміщувати носії й реагенти, а й підтримувати стабільний ритм роботи впродовж тривалого часу, мінімізуючи ризик зупинок через вичерпання ресурсів.

Однією з характерних рис аналізатора є можливість поповнення частини витратних матеріалів під час роботи. Такий режим висуває підвищені вимоги до алгоритмів блокування, логіки доступу та синхронізації між модулями. Відкриття окремих відсіків не повинно порушувати функціонування всього апарата, якщо це не створює ризику для безпеки або достовірності аналізу. Саме тому конструкція ADVIA Centaur CP поєднує механічні рішення з елементами програмного контролю стану.

Реагентний модуль апарата виконує відразу кілька функцій. Він забезпечує розміщення первинних і допоміжних реагентів, підтримує умови їх зберігання, а також створює передумови для стабільного забору та подачі у робочу зону. Важливо, що цей вузол не є лише «сховищем», а входить до активної частини технологічного циклу: від його точності та стабільності залежить якість подальших стадій аналізу.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Модуль зразків також має важливе функціональне значення. Організація доріжок для стандартних і термінових проб дозволяє реалізувати диференційоване обслуговування зразків без повного переформатування черги. Це свідчить про те, що в конструкції системи враховано не лише механіку подачі, а й логіку пріоритетності виконання окремих досліджень.

Окремої уваги заслуговує система індикації стану. Наявність світлових режимів, що сигналізують про готовність, активність або проблеми зчитування, зменшує навантаження на оператора та покращує взаємодію людини з апаратом. У межах мехатронної системи це є не просто допоміжною функцією, а частиною загального комплексу безпечного й ефективного керування. У таблиці 1.1 наведено основні технічні характеристики ADVIA Centaur CP.

Таблиця 1.1 – Узагальнені технічні параметри ADVIA Centaur CP

Параметр	Значення для ADVIA Centaur CP
Продуктивність	до 180 тестів/год
Час до першого результату	15-20 хв
Автономність по кюветах	400 шт.
Автономність по наконечниках	480 шт.
Кислотний реагент R1	500 мл (до 1000 тестів)
Основний реагент R2	500 мл (до 1000 тестів)
DI Water	7,5 л / 10,0 л
Wash 1	7,5 л / 10,0 л
Ширина × глибина × висота	110 × 74 × 82 см
Маса	170 кг

Отже, ADVIA Centaur CP є прикладом інтегрованої лабораторної мехатронної системи, у якій конструктивні та функціональні рішення тісно взаємопов'язані. Кожен зовнішній елемент, сервісний доступ і робочий модуль має не лише просторове розміщення в корпусі, а й конкретну роль у забезпеченні узгодженого технологічного процесу. Саме така системна

організація визначає як експлуатаційні переваги апарата, так і потенційні напрями його подальшого вдосконалення.

1.4. Аналіз ключових вузлів мехатронної системи

Для визначення напрямів модернізації необхідно розглянути ADVIA Centaur CP не як монолітний апарат, а як сукупність вузлів (рисунок 1.5), кожен з яких виконує окрему функцію і водночас взаємодіє з іншими. У сервісному описі системи виокремлено такі базові модулі: шасі, кюветний конвеєр, завантажувач кювет, інкубаційне кільце, люмінометр, блок живлення, насоси, реагентний відсік, зразковий і реагентний зонди, зразковий відсік, рідинні тракти, шухляди наконечників, станцію промивання, модуль відходів та робочу станцію. Такий перелік фактично задає функціональну декомпозицію апарата [1-3].

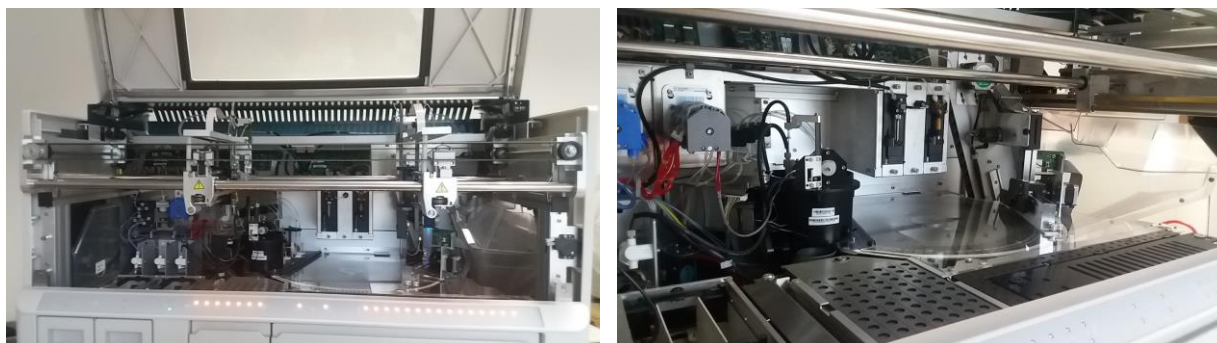


Рисунок 1.5 – Мехатронна систем ADVIA Centaur CP

Корпус системи є несучою основою і водночас елементом точності. Він містить верхню кришку, бічні дверцята, фронтальну частину з відсіками та датчиками, кронштейни для pomp, місця кріплення електронних плат і проводки [13]. Жорсткість шасі, якість кріплення вузлів та відсутність паразитних деформацій визначають точність позиціонування зондових і транспортних систем. Для лабораторного робота це критично, бо навіть малі

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

геометричні зміни можуть змінювати траєкторію проходження кювети або положення кінчика зонда.

Кюветний конвеєр, завантажувальний бункер і вузол завантаження кювет утворюють окремий транспортний контур. Бункер може вміщувати до 400 кювет, а конвеєр транспортує їх до вузла завантаження, де за допомогою крокового приводу і кулачкового механізму кожна кювета точно вводиться в інкубаційне кільце. Додатково в зоні конвеєра використано іонізатор повітря, що зменшує ризик статичних ефектів і застрягань. Це показує, що розробники вже врахували проблему неконтрольованої орієнтації легких полімерних носіїв, проте саме ця зона залишається однією з найбільш чутливих до механічного засмічення та зносу.

Інкубаційне кільце є центральною транспортно-технологічною ланкою системи. Воно вміщує до 80 кювет, підтримує температуру 37 °C і переміщує кювету через ключові позиції: зонд проби, зонд реагенту, станцію промивання, магнітний вузол і люмінометр. Рух кільця є двонапрямним, а просування здійснюється покроково, приблизно по одній кюветі кожні 20 секунд. Це серце всього апарата: будь-яке вдосконалення черговості, швидкості чи контролю цього вузла прямо впливатиме на пропускну здатність і надійність.

Люмінометричний модуль містить фотопомножувальну трубку та вимірювальну камеру з шестипозиційним моторизованим ротором. У цій зоні кювета піднімається з інкубаційного кільця, позиціонується під базовим зондом і перед PMT, після чого в момент додавання основи реєструється інтенсивність світла, а результат у вигляді RLU передається в систему оброблення. З погляду мехатроніки це найвідповідальніший вузол, бо поєднує точну механіку, рідинне дозування, оптичний захист від стороннього світла та високочутливу електроніку.

Система насосів формує рідинну логістику апарата. В описі наведено десять насосів, що забезпечують подачу Wash 1, DI water, аспірацію,

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доставку кислоти та основи, промивання реагентного зонда і видалення конденсату. Така кількість насосів свідчить про високу розгалуженість функцій і водночас про необхідність ретельного моніторингу їх ресурсу. Оскільки насоси працюють з різними режимами навантаження і середовищами, відмовостійкість системи багато в чому визначається рівнем діагностики їх стану. Важливу роль відіграє електроніка керування [6], схема якої представлена на рисунку 1.6.

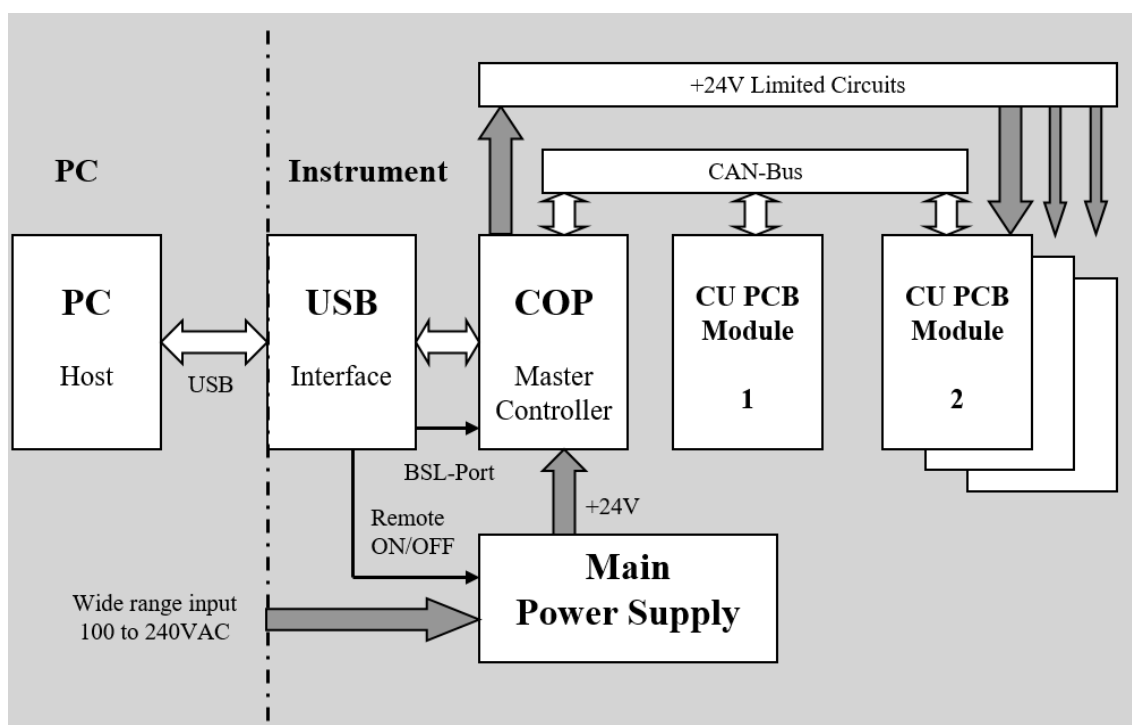


Рисунок 1.6 – Електротехнічна архітектура пристрою ADVIA Centaur CP

Прилад керується набором інтелектуальних друкованих плат блоків керування (CU PCB), з'єднаних між собою через CAN-Bus (мережу контролера) з головним контролером, який називається процесором зв'язку та організації (COP). Така конфігурація мережі дозволяє всім підмодулям зв'язуватися з головним контролером або з іншими модулями в обох напрямках. Головний контролер підключений до ПК через USB. На рисунку праворуч показано основний огляд CAN та управління живленням:

Головна СОР РСВ координує більшість двигунів і датчиків, контролює теплові контури, баркод-сканери та збирає результати від люмінометричного вузла через шину CAN. Комунікація між блоками через CAN підвищує стійкість структури, однак одночасно вимагає стабільної синхронізації та надійного обміну службовими повідомленнями. Для модернізації це відкриває можливість розширеного програмного контролю, не змінюючи кардинально механіку.

Таким чином, ключові вузли ADVIA Centaur CP можна поділити на п'ять функціональних груп: транспортно-механічну, рідинно-дозувальну, термостатичну, вимірювально-оптичну та інформаційно-керуючу. Подальша практична частина буде присвячена тому, як саме ці групи взаємодіють у реальному циклі, де виникають найбільш імовірні слабкі місця, та які конструктивні та технологічні зміни можуть дати найбільший технічний ефект.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Аналіз робочого циклу та слабких місць системи

Практичний аналіз мехатронної системи, структурна схема компонентів і вузлів якого представлена на рисунку 2.1, доцільно починати з розгляду повного робочого циклу однієї кювети, оскільки саме кювета є носієм усіх технологічних дій. На рисунку 2.1 відповідно позначено: 1 – Шухляди для наконечників; 2 – Область скидання наконечників; 3 – Відсік зразків; 4 – Відсік для реагентів; 5 – Люменометр; 6 – Підйомник кювет; 7 – Блок промивання; 8 – Кільце інкубування; 9 – Завантажувач кювет; 10 – Контейнер для кювет.

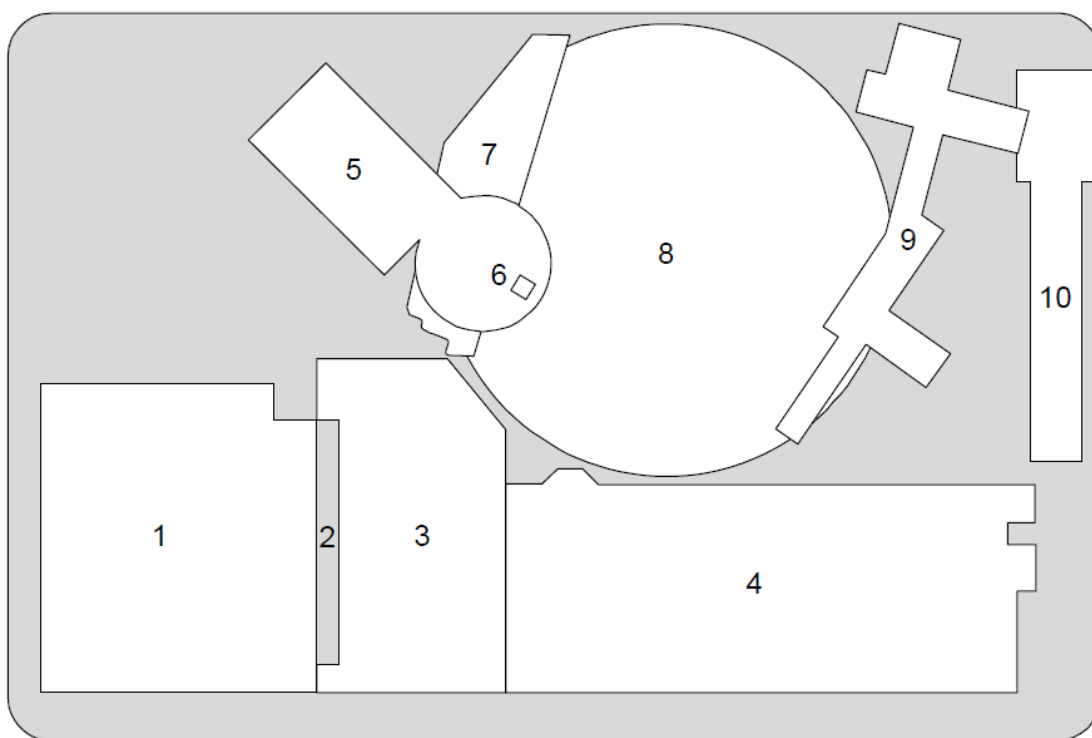


Рисунок 2.1 – Елементарна схема вузлів апарату ADVIA Centaur CP

Цикл стартує із завантаження витратних матеріалів і зразків. У правому бункері накопичуються кювети, у шухлядах – наконечники, у фронтальному

відсіку розміщуються касети з пробами, а в охолоджуваному реагентному відсіку – первинні та допоміжні реагенти. На цьому етапі система перевіряє присутність елементів, читає штрих-коди та формує чергу завдань.

Далі починається власне механічна частина циклу. Кювета переміщується конвеєром до завантажувача, де кроковий привід з кулачковим механізмом вводить її в інкубаційне кільце. Уже на цій стадії можливі перші вузькі місця: неправильна орієнтація кювети, локальне застрягання через статичний ефект, забруднення напрямних, нестабільна робота вібратора або відхилення геометрії завантажувача. Хоча конструкція містить іонізатор та елементи вирівнювання, ця зона залишається механічно чутливою через серійність операцій і значну кількість циклів за зміну.

Після потрапляння в кільце кювета послідовно проходить позиції дозування зразка і реагентів. Тут критичними є точність координатного підведення зонда, повторюваність об'єму аспірації, чистота наконечника або тракту та мінімізація краплинних залишків. Система має контроль цілісності аспірації реагенту та виявлення повного закупорювання зонда проб, що суттєво підвищує надійність. Однак існують і менш очевидні проблеми: повільне погіршення гідравлічного опору, зміна фактичної геометрії кінчика зонда, мікровібрації кронштейнів або нестабільність висоти занурення.

Наступною критичною стадією є інкубація. Інкубаційне кільце підтримується при 37 °С і просуває кювети між функціональними позиціями. З практичного погляду тут можливі дві групи ризиків. Перша – термостабілізаційна: нерівномірність температури або уповільнене відновлення теплового режиму після відкриття кришки чи інтенсивної серії тестів. Друга – транспортна: накопичення похибок індексації, збої датчика присутності кювети, підвищений опір руху кільця або неузгодженість доступу між кількома виконавчими вузлами.

Станція промивання і магнітний вузол відповідають за видалення незв'язаних компонентів і правильну підготовку кювети до вимірювання.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Саме тут механізми найтісніше поєднані з рідинною системою. Якщо витрата Wash 1, DI water або вакуум видалення змінюється, це може призвести до залишкових домішок, що вплинуть на фон або зменшать відтворюваність реакції. Документація вказує на наявність окремих насосів для промивання та аспірації, а також датчиків і магістралей рідинних контурів. Отже, вузьким місцем стає не окремий насос, а вся система розподілу потоків.

Фінальний етап – люмінометричне вимірювання, яке концентрує найбільшу кількість вимог до точності. Кювета підіймається в камеру, утримується у певному положенні, підводиться до зони дії магніту, під час додавання основи реєструється світловий сигнал, а після завершення вимірювання вміст видаляється у рідинні відходи, а кювета скидається у тверді. На практиці тут критичними є стабільність руху ротора, темновий шум РМТ, точність моменту введення основи, герметичність зони аспірації та чистота вимірювальної камери. Будь-яка розгерметизація, паразитне підсвічування або зміна часу між додаванням триггеру і реєстрацією можуть погіршити точність.

Окрему категорію вузьких місць формує взаємодія оператора з апаратом. Безперервне дозавантаження є перевагою, але водночас вимагає чіткої логіки блокувань. Наприклад, відкриття лівого відсіку з кислотним і основним реагентами не допускається під час роботи системи, тоді як доступ до кюветного бункера через праві дверцята можливий без повної зупинки. Це означає, що для підвищення ергономіки важливо не тільки механічно вдосконалювати вузли, а й уточнювати межі дозволених дій, інтерфейс повідомлень і прогнозування потреби в поповненні ресурсів.

На основі такого аналізу можна зробити висновок, що найбільш критичними вузлами для модернізації є: транспорт кювет, позиціонування зондів, інкубаційне кільце, рідинна система промивання й аспірації, люмінометричний канал та блок прогнозування стану витратних ресурсів.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме в цих точках відхилення найшвидше переходить у технологічний ризик або в сервісний простій.

2.2. Напрями вдосконалення механізмів та алгоритмів керування

Першим напрямом удосконалення є підвищення надійності транспортного контуру кювет (рисунок 2.2). Доцільно передбачити розширений контроль проходження кювети між бункером, конвеєром, завантажувачем і інкубаційним кільцем. Практично це може бути реалізовано шляхом введення додаткових оптичних або індуктивних контрольних точок присутності, а також програмної оцінки часу проходження кожної кювети між вузлами. Якщо фактичний час суттєво відхиляється від еталонного, система може ранньо сигналізувати про підвищений опір, перекид або забруднення ще до повного застрягання. Такий підхід не потребує радикальної зміни механіки, але суттєво знижує ризик аварійних зупинок [5].

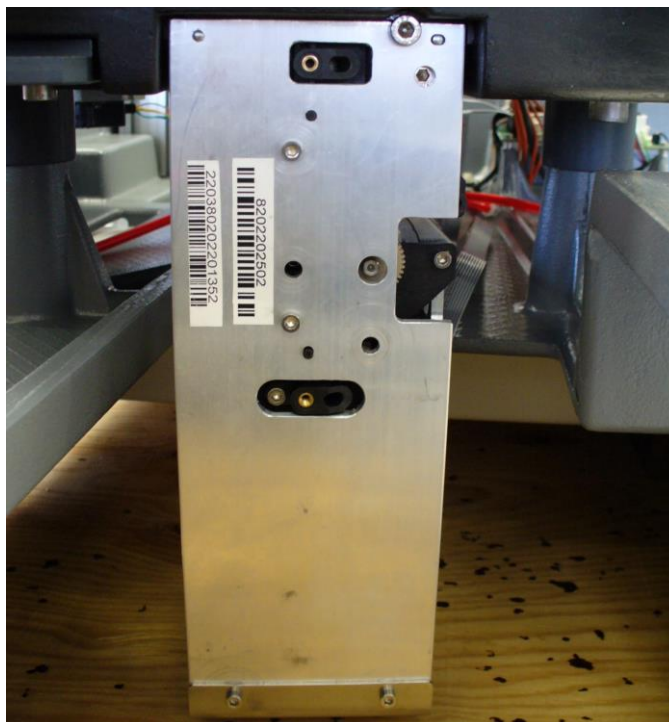


Рисунок 2.2 – Кюветний підйомник апарату ADVIA Centaur CP

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Другим напрямом є вдосконалення механізму позиціювання зондів проб і реагентів. Хоча система вже має засоби контролю цілісності аспірації, перспективним є введення програмного мікрокалібрування траєкторії з урахуванням накопиченої статистики помилок. Наприклад, якщо певна позиція лотка або доріжки стабільно дає підвищену кількість повторних спроб аспірації, система може виконувати адаптивну корекцію висоти занурення або швидкості підходу. На рівні механіки доцільним є використання більш жорстких демпфованих кронштейнів для зменшення вібрацій кінчика зонда.

Третій напрям стосується інкубаційного кільця (рисунок 2.3). Оскільки кільце є основним часовим координатором процесу, підвищення його точності дає системний ефект. Доцільно посилити діагностику сервоприводу й датчика присутності кювет, а також реалізувати модель прогнозування навантаження кільця залежно від черги тестів. Це дозволить розподіляти СТАТ-операції не лише за пріоритетом, а й з урахуванням поточного розміщення кювет на кільці, що потенційно скорочує непродуктивні переміщення і конфлікти за доступ до окремих позицій.

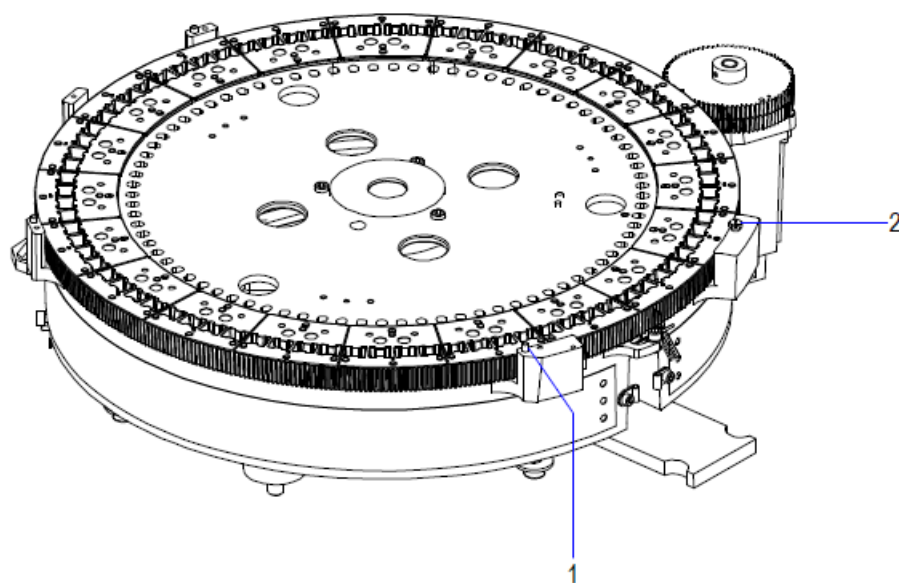


Рисунок 2.3 – Модель інкубаційного кільця апарату ADVIA Centaur CP

Четвертий напрям полягає у вдосконаленні рідинної системи. В апараті задіяно десять насосів із різними функціями, тому доцільно запровадити розширений моніторинг трендів: часу набору об'єму, струму приводів, кількості циклів, амплітуди тиску або вакууму, частоти короткочасних помилок. Якщо програмно формувати показник деградації для кожного насоса, сервіс може бути переведений із реактивного режиму у прогнозний. Це зменшить ризик відмов під час активної роботи лабораторії та дозволить виконувати заміну компонентів за фактичним станом.

П'ятий напрям – локальна термостабілізація критичних зон. Реагентний відсік уже є охолоджуваним, а інкубаційне кільце підтримує 37°C, проте вдосконалення полягає у більш детальному картуванні температурного поля. Додаткові датчики в зоні реагентних паків, поблизу шторок і в різних секторах кільця дали б змогу не лише фіксувати температуру, а й оцінювати її просторову однорідність. На базі цих даних можливе коригування інтенсивності охолодження, часу стабілізації після відкриття відсіку або попереджувальні повідомлення про локальні перегріву/переохолодження.

Шостий напрям – модернізація люмінометричного модуля з позицій точності та самодіагностики. Важливо розширити автоматичний контроль темного фону РМТ, стабільності ротора, часу між введенням основи й початком реєстрації, а також чистоти внутрішніх поверхонь камери. Якщо порівнювати серії темнових відліків у часі та будувати тренд відхилень, можна завчасно виявляти деградацію фотодетектора або сторонні підсвічування. Додаткове програмне блокування на випадок аномального темного фону допоможе уникнути недостовірних результатів.

Сьомий напрям стосується інтерфейсу взаємодії з оператором. LED-індикація у системі вже добре реалізована, однак її доцільно доповнити інтегральним «прогнозом автономності». Оператор має бачити не лише поточний рівень ресурсів, а й орієнтовний час до вичерпання кювет,

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

наконечників, води, Wash 1, кислотного та основного реагентів з урахуванням активної черги тестів. Це зменшить кількість позапланових втручань та покращить логістику обслуговування.

Восьмий напрям – конструктивне покращення сервісопридатності. Для вузлів, що найчастіше обслуговуються, корисними є швидкознімні кріплення, чіткі маркування зон ризику, покращений доступ до трубок і датчиків, а також уніфікація типів кріпильних елементів. Це не змінює принцип роботи аналізатора, але суттєво скорочує час відновлення після технічного втручання і зменшує ймовірність помилки під час заміни компонента.

Усі вище перелічені напрямки вдосконалення апарата ADVIA Centaur CP зведемо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – напрямки вдосконалення апарата ADVIA Centaur CP

Проблемна зона	Запропоноване вдосконалення	Очікуваний результат
Подача кювет	Додаткові точки контролю проходження, аналіз часу транзиту	Раннє виявлення застрягань, менше аварійних зупинок
Зонди проб і реагентів	Адаптивне мікрокалібрування, демпфування кронштейнів	Точніше дозування, менше повторних аспірацій
Інкубаційне кільце	Прогнозне планування навантаження та розширена діагностика сервоприводу	Краща синхронізація циклу, стабільніший темп роботи
Насоси та рідинні тракти	Трендовий моніторинг циклів, тиску/вакууму, струмів приводів	Перехід до прогнозного сервісу
Люмінометр	Контроль темного фону, часу введення основи, стану камери	Підвищення точності та відтворюваності вимірювання
Інтерфейс оператора	Прогноз автономності ресурсів і деталізовані попередження	Менше незапланованих втручань, вища ергономіка

Загалом запропоновані напрями вдосконалення можна охарактеризувати як комбіновану модернізацію: частина змін стосується додаткової сенсорики та конструктивних елементів, а частина – алгоритмів оброблення подій, статистичного моніторингу та взаємодії з оператором. Саме такий підхід є найбільш раціональним для діючих лабораторних систем, оскільки дозволяє підвищувати ефективність без повної заміни апарата.

2.3. Очікуваний технічний ефект від модернізації

Оцінювання технічного ефекту від запропонованої модернізації має опиратися на декілька критеріїв: продуктивність, точність, надійність, сервісопридатність та ергономічність. Важливо підкреслити, що для лабораторного аналізатора ці критерії не є незалежними. Наприклад, штучне підвищення швидкості транспортування кювет без компенсації вібрацій може формально скоротити час окремої операції, але зменшити точність або збільшити число відмов. Тому технічний ефект слід оцінювати через збалансоване покращення функціонування системи [13].

Найбільш очевидним ефектом від удосконалення транспортного контуру є зменшення простоїв, пов'язаних із застряганням або неправильною орієнтацією кювет. Якщо система отримує можливість виявляти аномалії ще на ранній стадії – за зміною часу проходження, нестандартною частотою повторних спроб чи розбіжністю між сигналами датчиків, – оператор або сервісна служба можуть втрутитися до того, як апарат перейде в аварійний режим. Для лабораторії це означає вищу пропускну здатність не лише номінально, а й фактично протягом зміни.

Точність дозування зразка і реагентів безпосередньо впливає на відтворюваність результатів. Навіть якщо паспортна продуктивність не зміниться, адаптивне мікрокалібрування зондів і покращене демпфування механічних вузлів зменшать розкид реального внесеного об'єму. Це

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

особливо важливо для аналізів із низьким порогом детекції або для ситуацій, коли концентрація аналіту близька до межі клінічного рішення. Таким чином, модернізація позиційних механізмів має якісний ефект, який проявляється у стабільності аналітичного результату.

Удосконалення інкубаційного кільця й алгоритмів планування черги дає подвійний ефект. З одного боку, зменшується кількість конфліктів між паралельними операціями, а отже, скорочуються мікропаузи, які оператор не завжди помічає, але які накопичуються протягом серії досліджень. З іншого боку, покращується дотримання часових інтервалів між стадіями аналізу. Для імунологічних методик це важливо, оскільки тривалість інкубації та момент переходу до промивання чи вимірювання є частиною відтворюваності методу.

Суттєвий технічний ефект очікується від переходу до прогнозного сервісу насосів і рідинних контурів. Коли система не просто фіксує відмову, а відстежує тренд деградації, кількість позапланових простоїв знижується. Для лабораторії це означає більш стабільний робочий графік, кращу прогнозованість навантаження на персонал та зменшення ризику зупинки під час пікової кількості замовлень. Для сервісної служби це означає перехід від аварійних виїздів до регламентованого обслуговування.

Люмінометричний вузол після модернізації самодіагностики має забезпечити нижчий ризик прихованих похибок. Найнебезпечнішими є саме ті ситуації, коли система ще працює, але частина результатів уже зміщується через зростання темного фону, нестабільність ротора або некоректний момент внесення основи. Додаткові алгоритми контролю допоможуть відсіяти такі ситуації раніше, а отже, підвищать достовірність виданих результатів.

Ергономічний ефект модернізації проявляється в покращенні взаємодії оператора з апаратом. Якщо інтерфейс не лише показує статус, а й прогнозує потребу в дозавантаженні ресурсів, то обслуговування перетворюється з

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

реактивного на планове. Це зменшує кількість стресових ситуацій, покращує використання часу персоналу та знижує ризик помилки при терміновому втручанні в роботу системи.

У підсумку можна стверджувати, що запропоновані вдосконалення не обов'язково мають давати різке зростання однієї лише швидкості тестування. Їх головна цінність полягає у підвищенні стабільності реальної експлуатації: менше зупинок, менше повторних операцій, краща відтворюваність, більш передбачуване обслуговування, вищий рівень довіри до результату. Саме такий комплексний ефект і є найважливішим показником успішної модернізації мехатронної роботизованої системи.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Дезактивація системи

Під дезактивацією системи ADVIA Centaur CP у межах даної роботи розуміється комплекс організаційних і технічних дій, спрямованих на безпечне виведення апарата з робочого режиму перед сервісним обслуговуванням, транспортуванням, розбиранням або утилізацією окремих елементів. Оскільки аналізатор працює з біологічними зразками, реагентами, промивальними розчинами, кислотними та лужними компонентами, будь-яке втручання у внутрішні вузли без попередньої дезактивації є неприпустимим. Навіть за відсутності видимого забруднення на внутрішніх поверхнях можуть залишатися сліди сироватки, плазми, контрольних матеріалів, аерозольних відкладень або конденсату, здатні створювати біологічний і хімічний ризик для персоналу.

Процедура дезактивації повинна починатися з переведення системи у сервісний або завершальний режим із коректним закриттям поточних аналітичних завдань. Після цього виконується блокування подачі нових зразків, завершення всіх внутрішніх циклів переміщення кювет та контроль спорожнення активних робочих зон. Особливу увагу необхідно приділити рідинним контурам: зразковому та реагентному зондам, промивальній станції, лініям подачі DI water, Wash 1, лініям кислоти та основи, а також ємностям для рідких відходів. Наявність залишкового тиску або рідини у трубках може стати причиною неконтрольованого розбризкування під час демонтажу.

Технологічно дезактивація передбачає зовнішнє очищення корпусу і панелей, спорожнення або герметизацію витратних ємностей, зняття та утилізацію використаних наконечників і кювет, оброблення зон можливого

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакту дезінфекційним розчином, сумісним з матеріалами апарата, а також виконання внутрішнього циклу промивання рідинного тракту. Для вузлів, що контактують із пробамі, доцільним є застосування дворівневої схеми: спочатку промивання нейтральним або штатним сервісним розчином для видалення залишків реагентів, а потім дезінфекційна обробка. Такий підхід знижує ризик хімічної несумісності та одночасно забезпечує знезараження.

Робоча панель із спеціалізованим програмним забезпеченням надає доступ до всіх функцій системи та інформації, яка необхідна для керування системою. Вона представлена на рисунку 3.1. Робочу область поділено на три зони: область відображення, панель завдань і рядок стану.

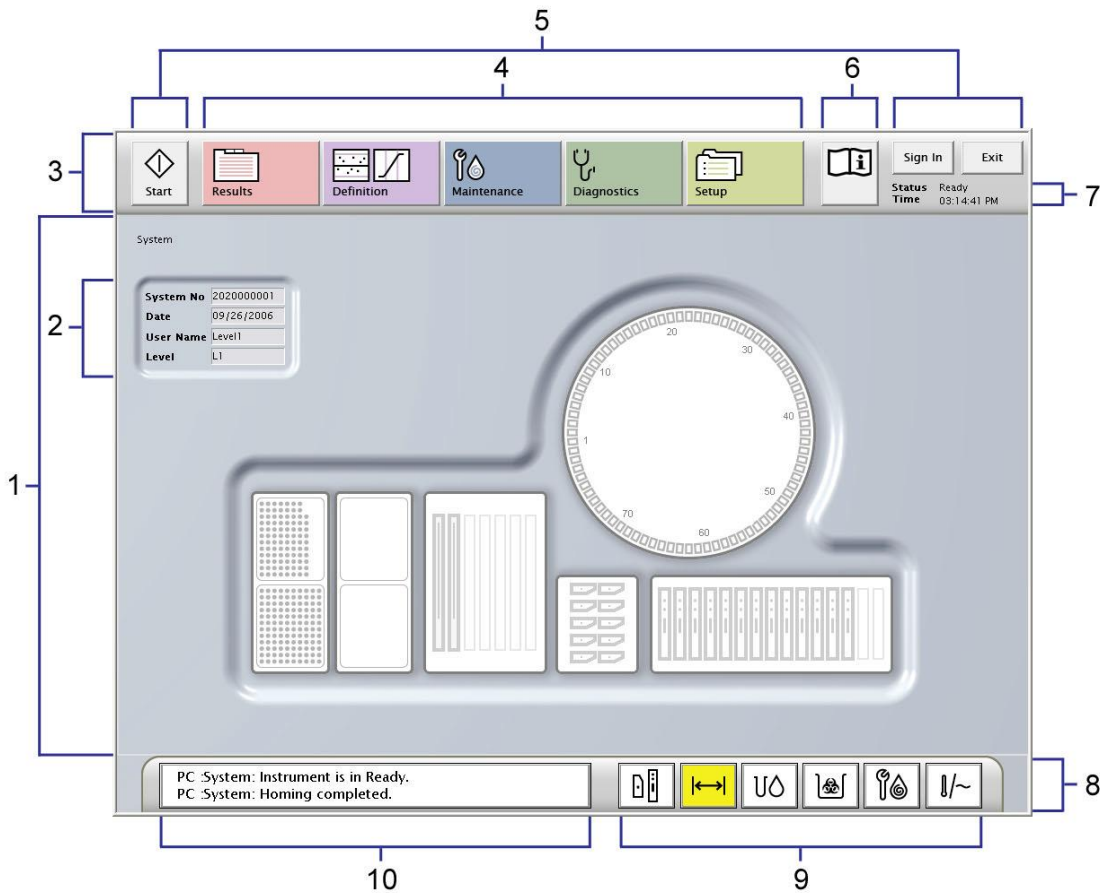


Рисунок 3.1 – Панель керування апаратом ADVIA Centaur CP

Область відображення (розташована в центрі робочої області) показує поточний активний екран. Екрани включають такі: System (Система), Results

(Результати), Definition (Визначення), Maintenance (Технічне обслуговування), Diagnostics (Діагностика), Setup (Налаштування) і Help (Довідка). Після запуску програмного забезпечення або після закриття екрана відображається екран System (Система).

На панелі цифрами показані усі панелі керування, а саме: 1 – Область відображення; 2 – Область даних системи та користувача; 3 – Панель завдань; 4 – Кнопки завдань; 5 Кнопки функцій; 6 – Кнопка довідки; 7 – Відображення стану та часу; 8 – Рядок стану; 9 – Кнопки стану; 10 – Журнал подій, де зберігаються усі протоколи роботи апарата.

У межах сервісного обслуговування доцільно виділити три рівні дезактивації. Перший рівень – оперативний, який виконується оператором щоденно або перед коротким втручанням і охоплює очищення доступних поверхонь, спорожнення відходів та контроль стану зондів. Другий рівень – сервісний, який здійснюється перед частковим розбиранням апарата і включає глибше промивання контурів, зняття витратних елементів і маркування потенційно небезпечних вузлів. Третій рівень – повний, який проводиться перед тривалим зберіганням, транспортуванням або списанням системи та передбачає максимальне усунення біологічно й хімічно активних залишків з усіх доступних ділянок.

Результатом правильно виконаної дезактивації має бути стан, за якого апарат безпечно допускається до подальшого розбирання. Це означає відсутність активних проб у системі, видалену або нейтралізовану рідину в технологічних лініях, очищені зовнішні поверхні, ідентифіковані зони можливого ризику та оформлений запис у журналі технічного обслуговування. Доцільно також застосовувати попереджувальні бирки на вузлах, що контактували з біоматеріалом або агресивними реагентами. Такий підхід підвищує культуру сервісу і зменшує ймовірність професійних помилок.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Розбирання системи

Розбирання ADVIA Centaur CP слід розглядати як регламентований технічний процес, який проводиться лише після повної або необхідної для конкретного виду робіт дезактивації системи. Основна мета розбирання полягає у забезпеченні доступу до механічних, рідинних, електронних та оптичних модулів для ремонту, заміни, калібрування чи очищення. Через високу насиченість апарата кабельними з'єднаннями, датчиками, трубками, кронштейнами та приводами будь-яке безсистемне розкриття корпусу може призвести до вторинних пошкоджень або порушення юстування критичних вузлів.

Раціональною є модульна послідовність розбирання. На першому етапі знімаються зовнішні кришки, бокові панелі, фронтальні дверцята та елементи, що забезпечують доступ до сервісних зон. Далі від'єднуються витратні ємності, шухляди для наконечників, касети реагентів, лотки зразків і вузли, що не мають жорсткого впливу на базове юстування системи. Після цього може проводитися демонтаж кюветного транспортного тракту, завантажувальних механізмів, насосних модулів, рідинних магістралей і окремих приводів. Найбільш чутливими до помилок є зони люмінометра, координатного переміщення зондів, інкубаційного кільця та електронних плат керування.

Під час розбирання необхідно дотримуватися принципу трасованості. Кожен знятий елемент має бути промаркований, а роз'єми, трубки та кабелі – зафіксовані у схемі або фотографічному журналі. Для складних з'єднань доцільно застосовувати нумеровані бирки, а для кріпильних елементів – окремі контейнери з підписами за вузлами. Така організація особливо важлива для аналізаторів, де механічна симетрія вузлів може створювати хибне враження їх взаємозамінності. Помилка при зворотному складанні може проявитися лише на етапі калібрування або навіть під час реального вимірювання.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розбирання насосно-рідинної частини повинно супроводжуватися контролем залишкових рідин і герметичним відокремленням трубок. Для електронних блоків обов'язковими є повне знеструмлення, розрядження накопичувальних елементів, антистатичний захист та виключення доторку до контактних зон без потреби. Оптичні елементи, зокрема вузол фотопомножувача і вимірювальної камери, слід демонтувати з мінімізацією механічних ударів, вібрацій і пилового забруднення. Якщо втручання стосується лише конкретного вузла, повне розбирання апарата є недоцільним, оскільки воно підвищує ризик повторного юстування та збільшує тривалість простою.

З інженерної точки зору розбирання системи повинно завершуватися не лише фізичним доступом до потрібного модуля, а й оцінкою стану суміжних компонентів. Саме під час демонтажу зручно виявляти знос ремінних передач, люфти направляючих, сліди підтікання, сольові відкладення, потемніння електричних контактів, старіння ущільнень та інші непрямі ознаки майбутніх відмов. Тому спеціальна частина роботи підтверджує, що дезактивація і розбирання мають розглядатися як важливі елементи технічної експлуатації, які прямо впливають на надійність і безпечність подальшої роботи ADVIA Centaur CP.

3.3. Опис вдосконаленого апарата та технологічного процесу

Для кращого візуального уявлення конструкції та функціональних модулів ADVIA Centaur CP доцільно розробити твердотільні 3D моделі та креслення основних вузлів модернізованого апарата, за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Подані моделі та креслення відображають компоновку корпусу, кюветного транспортного контуру, реагентного відсіку, станції промивання та робочої станції оператора.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

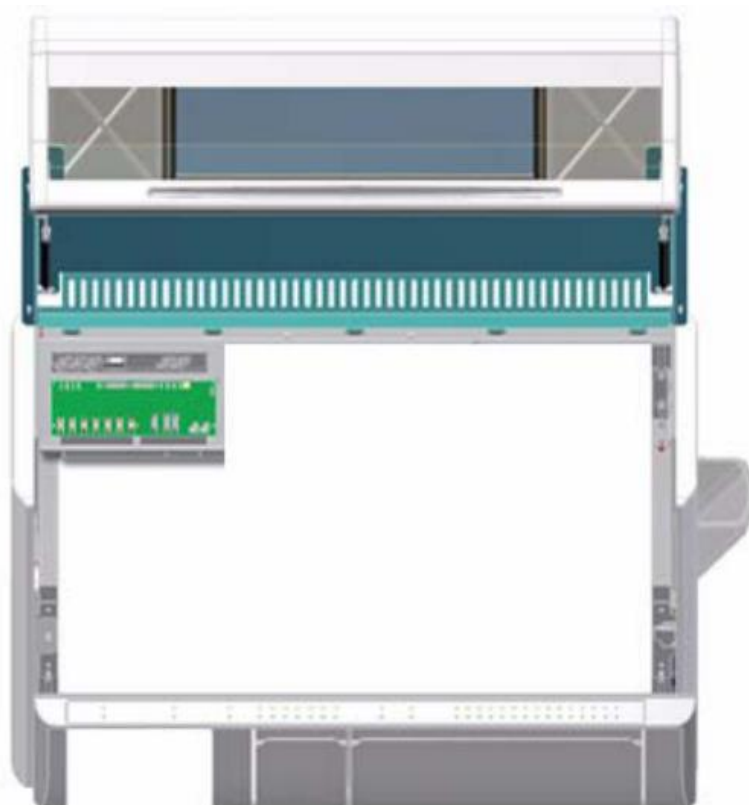


Рисунок 3.2 – 3D модель корпусу апарата ADVIA Centaur CP

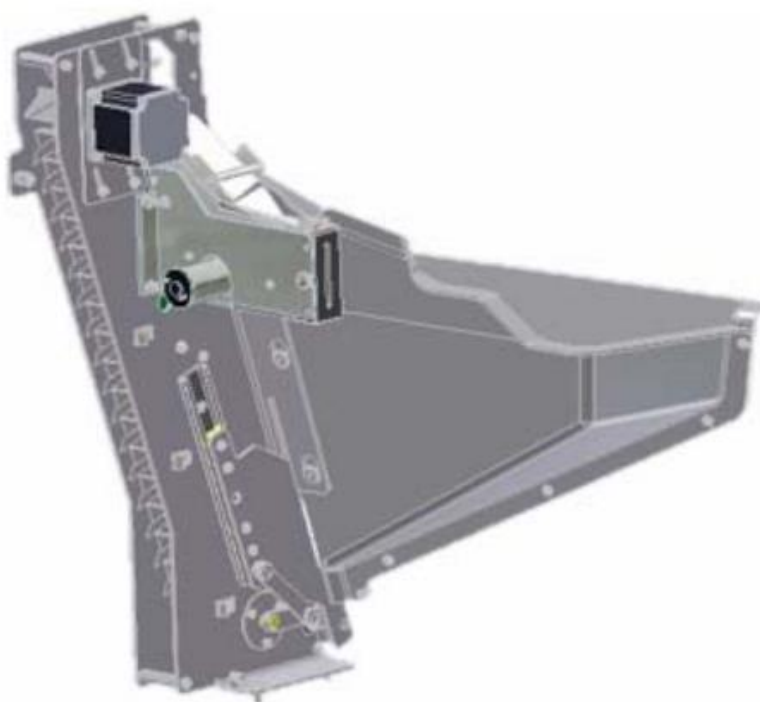


Рисунок 3.3 – 3D модель кюветного конвеєра системи ADVIA Centaur CP

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

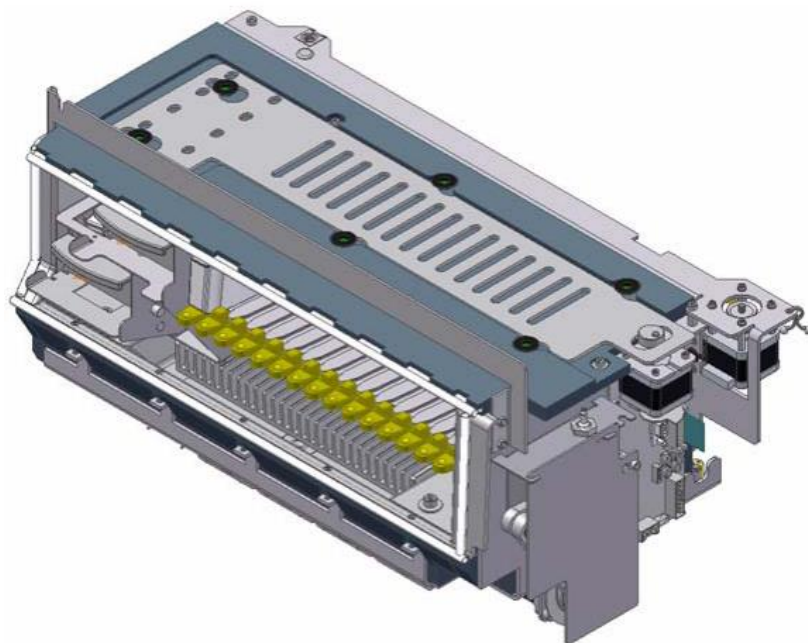


Рисунок 3.4 – 3D модель реактентного відсіка системи ADVIA Centaur CP

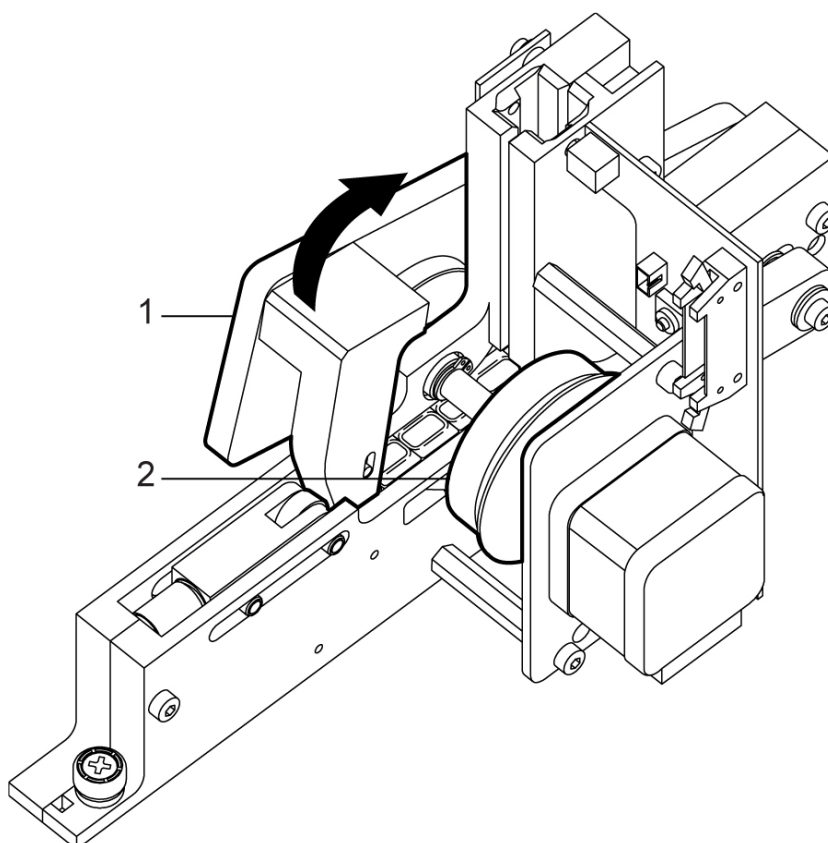


Рисунок 3.5 – 3D модель блока завантажувача кювет

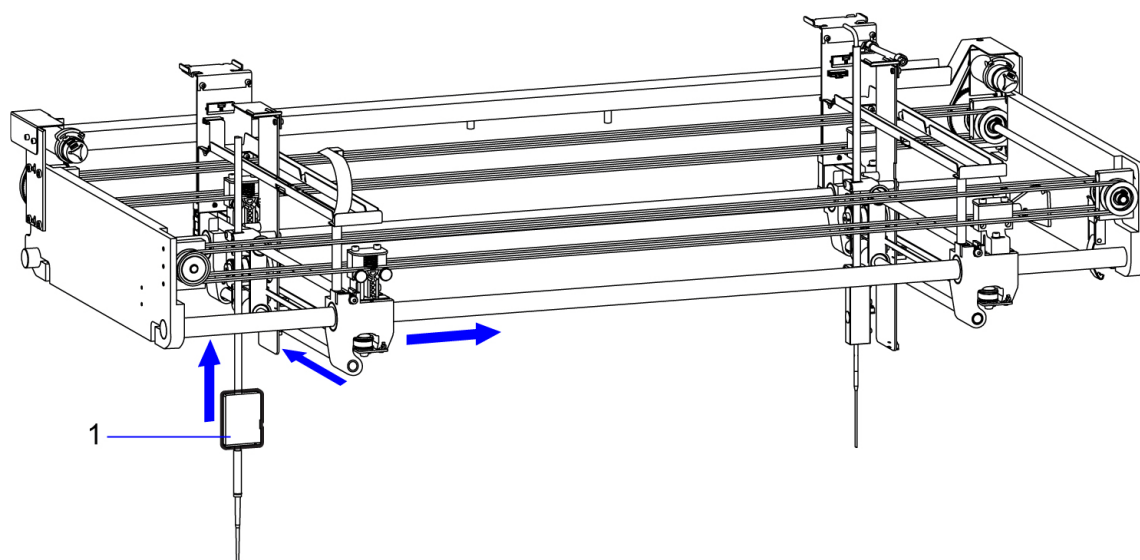


Рисунок 3.6 – 3D модель вузла переміщення зонда для забору зразків

На рисунку 3.7 представлена спроектована та змодельована за допомогою ПЗ SolidWorks станція для промивання системи ADVIA Centaur CP.

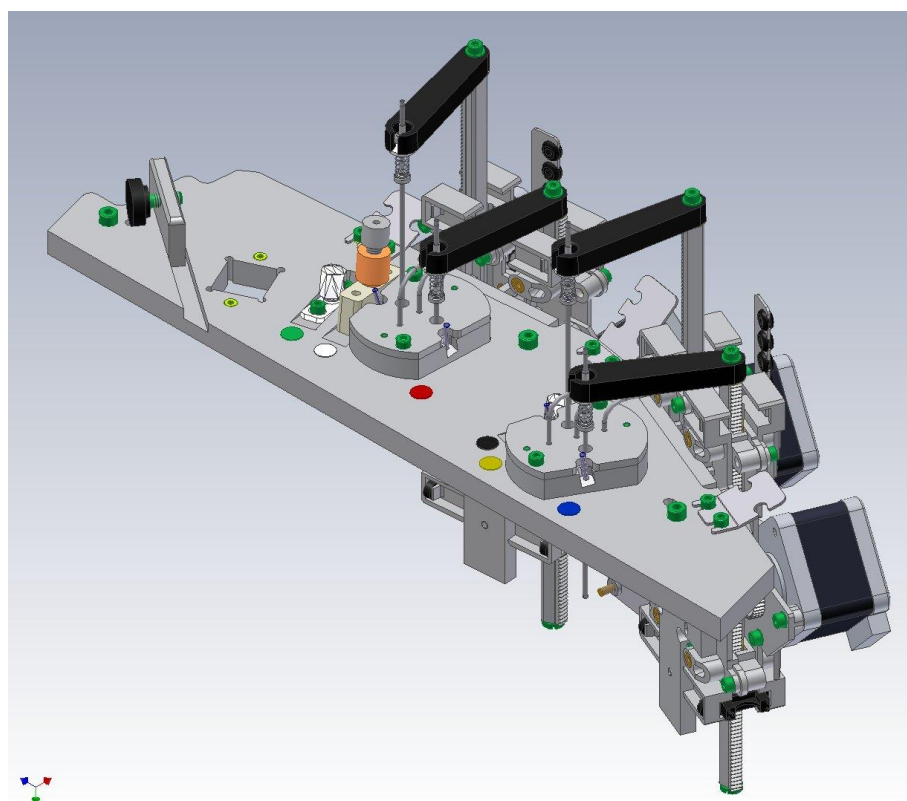


Рисунок 3.7 – Станція промивання системи ADVIA Centaur CP

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

При її розробці було проведено імітаційне випробування на герметичність блоку промивання голок (рисунок 3.7), імітаційне функціональне випробування окремих клапанів (рисунок 3.7 а) та випробування інжектора кислоти (рисунок 3.8 б).

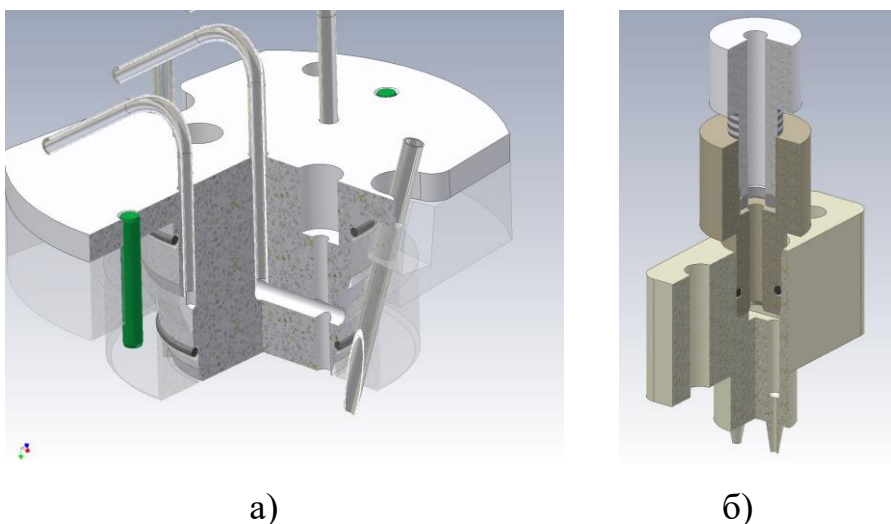


Рисунок 3.8 – Моделі для випробування

Наведені моделі та ізометричні креслення підтверджують модульний принцип побудови ADVIA Centaur CP і демонструють, що вдосконалення мехатронної системи доцільно здійснювати за окремими функціональними підсистемами: транспортною, дозувальною, рідинною, вимірною, очисною та операторською.

3.4. Структурно-компонувальна схема апарата

На основі попередніх моделей та розрахунків доцільно подати ADVIA Centaur CP як багаторівневу структурну схему, у якій можна виділити зовнішню компонентувальну оболонку та внутрішній функціональний маршрут. Зовнішня частина апарата містить фронтальну панель зі світлодіодною індикацією, шухляди наконечників, відсік твердих відходів, відсік зразків,

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

відсік реагентів, праві дверцята доступу до кюветного бункера, верхню кришку, задню панель з комунікаціями та лівий відсік з кислотним і основним реагентами.

Внутрішньо система організована навколо інкубаційного кільця та координованих механізмів доступу до нього. Зразковий і реагентний зонди працюють під верхньою кришкою та по черзі взаємодіють із кюветами, які надходять у кільце через завантажувач. Після етапів дозування та інкубації кювета проходить станцію промивання, магнітне розділення та зрештою надходить до люмінометричної камери з фотопомножувачем.

Окремим функціональним контуром є рідинна система. Вона охоплює контейнери DI water, Wash 1, liquid waste, трубки подачі й сигнальні кабелі датчиків, а також систему насосів, які забезпечують доставку води, промивальних розчинів, кислоти, основи й видалення відходів. Для мехатронного аналізу важливо, що цей контур не є допоміжним – він безпосередньо визначає якість очищення, стабільність реагування і достовірність вимірювання.

Електронно-інформаційний контур представлений головною платою COP PCB, локальними control unit PCB, датчиками, баркод-сканерами та робочою станцією. Комунікація між вузлами відбувається через CAN, а результати та службові сигнали передаються на робочу станцію для відображення оператору. Таким чином, структурна схема апарата має щонайменше три взаємозалежні шари: механічно-транспортний, рідинно-технологічний та інформаційно-керуючий.

На рисунку 3.9 наведено спрощену структурно-компонувальну схему модернізованого апарата з основними відсіками і габаритними розмірами. Схема виконана в узагальненому вигляді, щоб чітко показати логіку розташування модулів та взаємозв'язок між ними без перевантаження дрібними конструктивними деталями.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

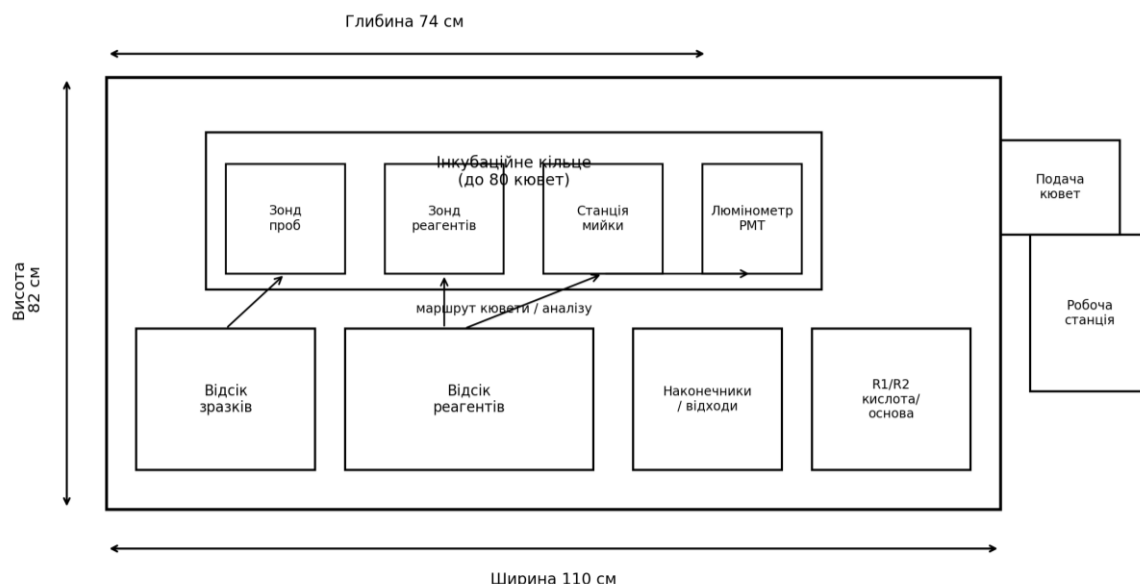


Рисунок 3.9 – Спрощена структурно-компонувальна схема ADVIA Centaur CP з габаритними розмірами

Габаритні розміри апарата мають не лише довідкове, а й інженерне значення. Ширина 110 см і глибина 74 см визначають просторові обмеження для розміщення транспортних механізмів, рідинних магістралей та сервісного доступу. Висота 82 см при закритій кришці та 110 см при відкритій вказує на необхідність вертикального запасу простору для роботи верхніх вузлів і сервісного відкривання. Маса 170 кг свідчить про достатньо жорстку та масивну конструкцію, що позитивно впливає на демпфування вібрацій, але висуває вимоги до місця встановлення.

Компонування з лівобічним розташуванням кислотного та основного реагентів, правобічною подачею кювет і фронтальним доступом до зразків, реагентів і наконечників є функціонально виправданим. Воно розносить зони підвищеного технологічного ризику та зони частого втручання оператора. У перспективі модернізації саме ця компоновальна логіка має зберігатися, а вдосконалення повинні бути спрямовані на внутрішні механізми й інтелектуальну підтримку обслуговування, не порушуючи зручність доступу до основних відсіків.

Під час проектування або модернізації допоміжного оснащення – наприклад, сервісних столиків, систем кабель-менеджменту, додаткових захисних кожухів чи засобів локального клімат-контролю – ці розміри слід враховувати як базові. Таким чином, схема з розмірами виконує роль не тільки ілюстрації, а й вихідної основи для подальших інженерних рішень.



Рисунок 3.10 – Узагальнений функціональний технологічний процес в системі ADVIA Centaur CP

Отже, технологічний процес в ADVIA Centaur CP є прикладом багатостадійного роботизованого циклу, де кожний наступний етап залежить від правильності попереднього. Саме це робить удосконалення окремих механізмів настільки важливим, відповідно локальне покращення в ключовому вузлові апарата підсилює надійність усього ланцюга.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та навколишнього середовища

Питання охорони праці під час експлуатації, обслуговування та вдосконалення мехатронної системи ADVIA Centaur CP є надзвичайно актуальними, оскільки даний апарат поєднує одразу декілька груп ризиків: електричні, механічні, біологічні, хімічні та психофізіологічні [7]. На відміну від звичайного лабораторного обладнання, роботизований аналізатор працює у напівавтоматичному або повністю автоматичному циклі, де оператор одночасно взаємодіє з рухомими частинами, відкритими сервісними зонами, біоматеріалом пацієнтів і реагентами різного хімічного складу. Тому вдосконалення механізмів апарата повинно супроводжуватися обов'язковим аналізом умов праці та запобіганням негативному впливу на людину і довкілля [9].

Актуальність екологічного аспекту зумовлена тим, що у процесі роботи системи утворюються рідкі та тверді відходи, які можуть містити залишки біологічних зразків, мийних розчинів, кислотних і лужних реагентів, одноразових пластикових елементів та забрудненого витратного інструменту. Неправильне поводження з ними створює ризики для навколишнього середовища, внутрішньолaborаторної санітарії та персоналу [14]. У зв'язку з цим будь-який інженерний проєкт модернізації апарата має враховувати не тільки технічну ефективність, а й безпечність життєвого циклу обладнання.

4.2. Аналіз об'єкта дослідження з точки зору безпеки праці

З позицій безпеки праці ADVIA Centaur CP є складним технічним об'єктом з локалізованими, але різнорідними небезпечними факторами.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Першу групу становлять механічні фактори: рух зондів, приводи транспортних систем, інкубаційне кільце, механізми завантаження кювет і ротори вимірювального вузла. За штатної експлуатації вони закриті кожухами та кришками, однак під час сервісних операцій або роботи з відкритими панелями виникає ризик защемлення пальців, контакту з рухомими елементами або випадкового порушення траєкторії механізму.

Другою групою є електричні небезпеки [7-8]. У системі наявні блоки живлення, плати керування, електродвигуни, нагрівальні елементи, датчики та кабельні комутації. Порушення ізоляції, волога у зоні електроніки, некваліфіковане розбирання або виконання робіт без відключення живлення можуть призвести до ураження електричним струмом або виходу з ладу обладнання. Третю групу становлять хімічні фактори: контакт із промивальними розчинами, буферами, кислотним і лужним реагентами, а також із засобами дезінфекції. Вони можуть спричиняти подразнення шкіри, слизових оболонок і дихальних шляхів.

Четверта група факторів пов'язана з біологічною небезпекою. Аналізатор працює з людськими пробами, тому всі поверхні, що контактують із зразками, потенційно слід вважати контамінованими. П'ята група - мікрокліматична та ергономічна. У лабораторії важливі достатнє освітлення, стабільна температура, вентиляція, зручна висота робочої поверхні, відсутність захаращення проходів, правильне розміщення контейнерів відходів і мінімізація вимушених поз. Таким чином, безпека праці при роботі з ADVIA Centaur CP формується поєднанням технічного стану апарата, культури експлуатації та організації лабораторного простору.

4.3. Запроектовані заходи та технічні рішення для ліквідації та зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Для зменшення дії механічних факторів у роботі пропонується застосування удосконалених міжблокувань, які забороняють запуск рухомих

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

механізмів при відкритих сервісних панелях, а також введення додаткової індикації стану небезпечних зон. Доцільним є використання прозорих захисних екранів у місцях візуального контролю, щоб оператор міг спостерігати за процесом без прямого доступу до траєкторій руху вузлів. Для сервісного персоналу рекомендовано впроваджувати покрокові карти доступу до модулів з обов'язковим відключенням і фіксацією енергії перед втручанням.

Для зниження електричних ризиків [8] необхідно забезпечити надійне заземлення апарата, періодичний контроль стану кабелів і роз'ємів, захист електроніки від потрапляння рідин та використання антистатичних засобів під час робіт з платами. Організаційним заходом є допуск до внутрішніх електронних вузлів лише підготовленого персоналу. Для рідинно-хімічних факторів ефективними є герметизація контурів, своєчасна заміна трубок і ущільнень, локальні сорбувальні набори для ліквідації розливів, використання рукавичок, окулярів і лабораторного одягу, а також чітке маркування ємностей із реагентами та відходами.

Біологічні ризики зменшуються шляхом суворого дотримання правил біобезпеки [9]: усі зразки розглядаються як потенційно інфіковані, а поверхні після контакту з ними підлягають регулярній дезінфекції. Необхідно організувати окремі контейнери для гострих і забруднених відходів, встановити регламент поводження з використаними наконечниками й кюветами, а також вести журнали дезактивації та сервісних втручань. Для ергономічного поліпшення робочого місця слід передбачити вільний доступ до фронтальних зон апарата, неслизьке покриття підлоги, достатній простір для відкривання кришок і заміни витратних матеріалів без надмірних нахилів корпусу. У комплексі такі рішення знижують професійний ризик і підвищують безпечність експлуатації модернізованої системи.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4. Запроектовані заходи протипожежної профілактики

Протипожежна профілактика при експлуатації ADVIA Centaur CP повинна базуватися на поєднанні конструктивних, організаційних і режимних заходів. Основними потенційними джерелами займання можуть бути короткі замикання в електронних блоках, перегрів окремих елементів живлення, пошкодження ізоляції кабелів, накопичення пилу у вентиляційних зонах та порушення правил користування допоміжним електрообладнанням. Хоча сам апарат не належить до високотемпературних установок, значна концентрація електроніки в замкненому корпусі вимагає системного контролю пожежної безпеки.

До запроектованих заходів належать: регулярне очищення вентиляційних каналів і внутрішніх поверхонь від пилу; перевірка цілісності мережевих кабелів та клем; заборона використання несправних подовжувачів; встановлення апарата на безпечній відстані від джерел тепла; підтримання вільного доступу до вимикача живлення; оснащення приміщення справними вуглекислотними або порошковими вогнегасниками; позначення шляхів евакуації та проведення інструктажів персоналу. Усі профілактичні огляди доцільно відображати в журналі технічного стану лабораторного обладнання.

Додатково доцільно передбачити алгоритм дій при аварійній ситуації: негайне відключення живлення, припинення подачі зразків і реагентів, локалізація зони займання, повідомлення відповідальних осіб і використання первинних засобів пожежогасіння без ризику для життя персоналу. Під час модернізації апарата слід уникати рішень, що погіршують тепловідведення або ускладнюють доступ до вузлів аварійного відключення. Отже, протипожежна профілактика є невід'ємною частиною проектування безпечної експлуатації мехатронної системи ADVIA Centaur CP.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено мехатронну роботизовану систему апарата ADVIA Centaur CP як комплекс взаємопов'язаних механічних, рідинних, електронних та інформаційно-керуючих вузлів. Показано, що ефективність такого аналізатора визначається не окремими характеристиками, а якістю координації всіх підсистем у межах єдиного технологічного циклу.

У першому розділі обґрунтовано місце лабораторних імунохемілюмінесцентних аналізаторів серед сучасних мехатронних систем, розкрито фізичні основи прямої хемілюмінесценції та встановлено, що точність результату залежить не лише від реагентної методики, а й від стабільності механічного транспортування, дозування, інкубації, промивання й фотометричної реєстрації.

На основі проведеного опису архітектури ADVIA Centaur CP, його ключових технічних характеристики та функціональних вузлів модернізовано та спроектовано корпус, кюветний конвеєр, завантажувач, інкубаційне кільце. Спроектано станцію промивання системи ADVIA Centaur CP та вузол переміщення для пришвидшення даних процесів. Проаналізовано повний робочий цикл системи та визначено найбільш критичні зони: транспорт кювет, позиціонування зондів, інкубаційне кільце, рідинна система промивання та аспірації, люмінометричний вузол і взаємодія оператора з ресурсами системи. Показано, що саме в цих точках локальні відхилення найшвидше переходять у втрату продуктивності, похибку або сервісний простій.

Окремо сформовано та розроблено комплекс заходів з охорони праці, біобезпеки, хімічної безпеки та протипожежної профілактики. Очікуваний технічний ефект від запропонованих рішень полягає у зниженні ризику

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

аварійних зупинок, підвищенні відтворюваності дозування й вимірювання, переході від реактивного до прогнозного сервісу, покращенні ергономіки обслуговування та стабілізації реальної експлуатаційної продуктивності системи. Виконаний аналіз показав, що питання технічного вдосконалення аналізатора неможливо відокремити від безпечної експлуатації та сервісної технологічності. Саме тому в роботі окремо розглянуто процедури дезактивації, розбирання, заходи охорони праці та протипожежної профілактики як обов'язкові складові життєвого циклу лабораторної мехатронної системи.

Запропоновані рішення можуть бути використані як основа для подальшого деталізованого проектування та модернізації обладнання такого типу, що в свою чергу має на меті покращити сервісну оптимізацію з обслуговування даного апарату.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ADVIA Centaur CP Operator's Glossary / System Components. Siemens Medical Solutions Diagnostics. 4 p.
2. ADVIA Centaur CP Supply Capacity. Supplemental info for training purposes only. 4 p.
3. Siemens Medical Solutions Diagnostics. ADVIA Centaur® CP Immunoassay System. Overview. 086-S002-03 Rev. A, 2007-11. 48 p.
4. Suk-Hwan Suh, Seong-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung, Ian Stroud Theory and Design of CNC Systems. Springer-Verlag London Limit., 2008. 477 p.
5. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С. Г. Бондаренко – Львів : Магнолія, 2018. – 500 с.
6. Дмитрієв Ю.О., Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Холодняк Ю.В. Проектування керуючих програм для верстатів токарної групи з пристроєм числового програмного керування: навчальний посібник. – Мелітополь: Люкс 2018. – 132 с.
7. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.
8. ДСТУ 8965:2019 Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Загальні положення.
9. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT) Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування.
10. Залога, В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні. Навчальний посібник / В.О. Залога, В.Д. Гончаров, О.О. Залога. – Суми: СумДУ, 2013. – 371 с.
11. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, С.В. Марченко. Суми: СумДУ, 2020. – 163 с.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

12. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Репінський С.В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 106 с.

13. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.

14. Тимочко В.О., Березовецький А.П., Городецький І.М., Мазур І.Б., Ковальчук Ю.О., Сафонов С.А., Стефанишин В.Ю. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. Посіб. Львів: Сполом. 2022. – 410 с.

15. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «бакалавр»: методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи», спеціальності 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 44 с.

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТК И

					034Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		