

## Радіоелектроніка біомедичних технологій

УДК 519.683.2+004.021/.023+612.122.1

### СХЕМА УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТРИВАЛОГО МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ ЛЮДИНИ<sup>1</sup>

*Щербина Д. А., аспірант; Яворська Є. Б., к.т.н., доцент.*

<sup>1</sup>*Тернопільський національний технічний університет*

*ім. Івана Пулюя, Тернопіль, Україна,*

*yavorska\_eb@yahoo.com*

### BLOCK DIAGRAM OF THE IMPROVED CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING SYSTEM OF HUMAN'S BLOOD

*Shcherbyna D. A.; Yavorska E. B.*

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine,*

#### Вступ

Цукровий діабет (ЦД) є великою проблемою сьогодення, оскільки кількість хворих зростає з кожним роком у всьому світі. За даними Міжнародної федерації діабету [1] кількість хворих до 2030 року становитиме 592 млн. чоловік, що дає підстави говорити про глобальну епідемію. У 90-95% хворих діагностують ЦД 2 типу, основою розвитку якого є генетична зумовленість, ожиріння, малорухливий спосіб життя. Станом на 1 січня 2014 р. в Україні зареєстровано 1 380 047 хворих на цукровий діабет (2,9% чисельності населення) [2]. Проте кількість людей з недиагностованою патологією перевищує цей показник у 3–4 рази [2]. В світі розроблено прилади для вимірювання рівня глюкози, проте проблемою залишається складність контролю за рівнем цукру в крові.

#### Постановка проблеми

Важливим питанням при діагностиці ЦД є самоконтроль рівня цукру в крові (глікемії [3]). Діабет відноситься до невиліковних хронічних захворювань, проте, його необхідно контролювати, щодня спостерігаючи рівень глюкози в крові, за допомогою індивідуальних глюкометрів [4], що надто важливе для попередження розвитку ускладнень захворювання.

Виходячи із порівняльної характеристики [5] існуючих методів та приладів, найефективнішими для контролю глікемії є системи тривалого моніторингу рівня глюкози, оскільки вимірювання проводяться протягом тривалого часу і можливо детально прослідкувати зміну рівня цукру протягом доби. Однією із них є система тривалого моніторингу рівня глюкози в крові Guardian REAL-Time [6], яка уможливорює ефективно проконтролювати глікемію та досить точно відкоригувати інсулінотерапію. Проте, жодна з

<sup>1</sup> Електронний варіант статті: <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1054>

існуючих систем не передбачає можливості використання без сторонньої допомоги, особливо це стосується людей похилого віку та людей з вадами зору.

Тому, актуальним та важливим завданням є удосконалення існуючої системи тривалого моніторингу рівня глюкози, а саме автоматизація обчислення необхідної кількості інсуліну та автоматичне виставлення дози на ручці-шприцу, щоб уможливити використання приладу людьми з вадами зору. Першим етапом вирішення завдання є розробка схеми удосконаленої системи тривалого моніторингу.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Про необхідність проведення безперервного тривалого моніторингу глікемії для оцінки контролю вуглеводного обміну у хворих цукровим діабетом переконливо свідчать результати міжнародного дослідження, проведеного Bruce W. Vode [7]. У ньому брав участь 101 пацієнт, причому кожен учасник пройшов моніторинг глюкози крові в середньому протягом 12 днів. Пацієнти, використовуючи часті вимірювання глікемії протягом доби і, одержуючи якісну цукрознижувальну терапію, знаходилися в нормоглікемічному діапазоні [8] всього біля 65% часу в день, а часовий інтервал, протягом якого вони досягали жорсткого глікемічного контролю (до 5,5 ммоль/л перед їжею і до 7,5 ммоль/л через 2 години після прийому їжі), складав менше 30% в добу. Це свідчить про те, що існуючі методи моніторингу і терапії діабету недостатні для щоденної підтримки нормоглікемії. Майже 30% часу пацієнти знаходилися в гіперглікемічному діапазоні з більш вираженою тенденцією до гіперглікемії (підвищеному рівню цукру в крові). Крім того, були отримані дані про періоди гіпоглікемії, на які доводилося близько 8% часу.

У дослідженні Einhorn [7] результати 88% пацієнтів, що пройшли тривалий моніторинг глюкози в крові за допомогою системи CGMS [8], зажадали зміну схеми інсулінотерапії або таблетованих препаратів, яку неможливо було спрогнозувати, не дивлячись на інтенсивне дослідження глюкози крові за допомогою глюкометра.

Специфічний підбір терапії може включати перехід на застосування іншого цукрознижувального препарату, зміну вуглеводного складу живлення, режиму введення інсуліну або навіть напрям пацієнта на консультацію до психолога, щоб підсилити мотивацію на дотримання режиму лікування. Результати досліджень показали, що за допомогою системи тривалого моніторингу рівня глюкози, та корекції інсулінотерапії є можливість підвищити перебування пацієнта в нормоглікемічному діапазоні до 92%.

Також було проведено дослідження [10], де вивчався вплив коливань рівня глюкози на розвиток субклінічних (прихованих) гіпоглікемічних епізодів у хворих на цукровий діабет 1-го типу та можливість при цьому використання системи тривалого моніторингу рівня глюкози.

На міжнародному 24-тижневому рандомізованому відкритому клінічному дослідженні (PRESCHOOL [11]) в паралельних групах порівнювалися ефективність і толерантність терапії інсуліном тривалої дії «Лантус» один раз на добу й терапії інсуліном пролонгованої дії НПХ (Нейтральний протамін Хагедорна [12]) один або два рази на добу у дітей, хворих на ЦД 1 типу, віком менше 6 років.

Усі вказані вище дослідження свідчать про ефективність спостереження за рівнем глюкози в крові за допомогою систем тривалого моніторингу, проте немає систем, які передбачали б використання людьми похилого віку та з вадами зору без сторонньої допомоги. Зокрема, не існує ручок-шприців з автоматичним виставленням необхідної дози інсуліну.

### **Мета роботи**

Розробити схему удосконаленої системи тривалого моніторингу рівня глюкози в крові людини для автоматизації обрахунку кількості інсуліну та автоматичного виставлення дози на ручці-шприцу, щоб уможливити використання приладу людьми з вадами зору та людьми похилого віку.

### **Опис та принцип роботи системи тривалого моніторингу**

Тривалий моніторинг забезпечує детальну інформацію про характер і тенденції зміни рівня глюкози, і обіцяє стати одним із значних досягнень в контролі діабету. Важливо, що профілі постійного вимірювання глікемії і записи, отримані при допомозі моніторів, дозволяють ідентифікувати періоди прихованих нічних гіпоглікемій, після прандіальних гіперглікемій і коректувати дозу цукрознижувального препарату, час його прийому, внести зміни в план харчування і графік фізичної активності, регулювати час і частоту вимірювань цукру в крові.

Система Guardian REAL-Time складається з таких основних компонентів (див. рис. 1): монітор системи Guardian REAL-Time (1); передавач Medtronic MiniLink (2); сенсор Medtronic MiniLink (3); пристрій для встановлення сенсора Sen-Serter (4).



Рис. 1. Основні компоненти системи Guardian REAL-Time (фірма Medtronic Minimed, Канада) [13]

Призначення компонентів системи наступне:

1. Монітор (CSS-7100) — відображає результати вимірювання глюкози сенсором в реальному часі, повідомляє про сигнали тривоги, поточні настройки і дані про статус (розмір монітора  $5,1 \times 8,1 \times 2,0$  см; маса монітора

79 г (з батарейкою); екран монітора рідкокристалічний, монохромний, площа — 7,2 см<sup>2</sup>; живлення — лужна батарея типу ААА; тривалість безперервної роботи — 3 тижні без використання підсвічування і пульта дистанційного керування).

2. Передавач Medtronic MiniLink (ММТ-7703) являє собою невеликий перезаряджуваний пристрій, котрий з'єднує сенсор глюкози з монітором. При підключенні до сенсора, передавач автоматично задіює сенсор, збирає дані про рівень глюкози і по бездротовому зв'язку передає їх на монітор.

3. Сенсор ММТ-7002 (купується окремо) — являє собою закритий мембраною електрод, який за допомогою пристрою Sen-Serter або вручну вводиться підшкірно в жирову клітковину. Вимірювання рівня глюкози проводиться кожні 5 хв., робота сенсора розрахована на 3-6 днів постійного моніторингу.

4. Пристрій для встановлення сенсора SEN-SERTER (ММТ-7500) призначений для введення сенсора ММТ-7002 підшкірно, використовується для зручної та швидкої установки сенсора.

Модуль моніторингу глікемії виконує функцію безперервного і тривалого визначення поточної глікемії. Реалізується у вигляді глюкозного сенсора, що перетворює вимірювану величину, пов'язану з глікемією, в електричний сигнал. Цей сигнал піддається необхідному підсиленню і перетворенню.

### **Розробка схеми системи тривалого моніторингу та удосконаленого приладу**

Для представлення взаємозв'язків усіх блоків розроблено схему системи тривалого моніторингу Guardian REAL-Time (див. рис.2).

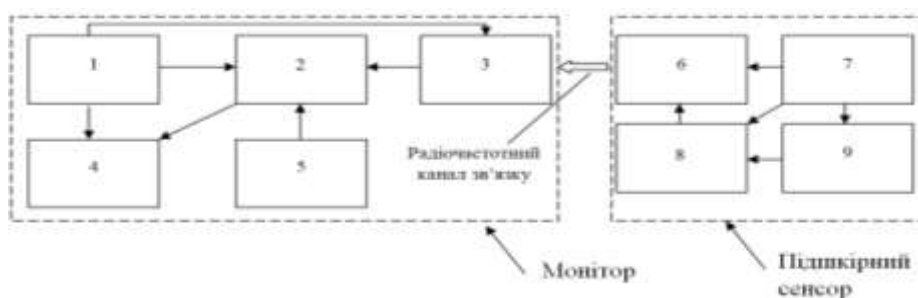


Рис. 2. Схема системи тривалого моніторингу рівня глюкози Guardian REAL-Time (Блоки монітору: батарейка (1), мікропроцесор монітору (2), приймач (3), екран (4), блок управління (5). Блоки підшкірного сенсора: передавач (6), батарейка (7), мікропроцесор сенсора (8), електрод (9)).

Взаємозв'язки блоків наступні: батарейка монітору (1) живить блоки — мікропроцесора монітору (2), управління (5), екрана (4) та приймача (3). Блок мікропроцесора монітору керує екраном, а також отримує дані з блоку управління та приймача. Батарейка сенсора (7) живить блоки — мікропроцесора сенсора (8) та передавача (6). Блок мікропроцесора сенсора керує

передавачем. В свою чергу електрод (9) передає дані про кількість струму мікропроцесору. Передавач отриману інформацію з блоку мікропроцесора сенсора передає приймачу монітора за допомогою радіочастотного каналу зв'язку.

Для спрощення використання системи встановлено зв'язок приладу та ручки-шприца. Зв'язок приладу та ручки-шприца можна представити у вигляді схеми (див. рис.3).

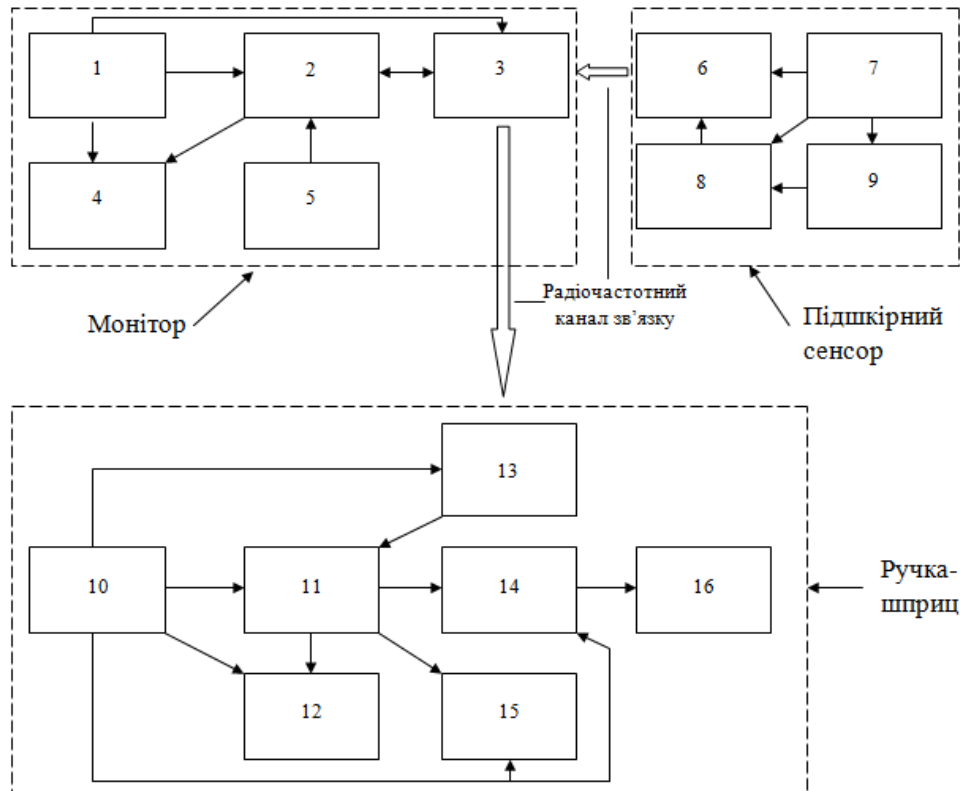


Рис. 3. Схема системи тривалого моніторингу глюкози в крові людини та ручки-шприца (Блоки монітора: батарея (1), мікропроцесор монітора (2), приймач та передавач (3), екран (4), блок управління (5). Блоки підшкірного сенсора: передавач (6), батарея (7), мікропроцесор сенсора (8), електрод (9). Блоки ручки-шприца: батарея (10), мікропроцесор ручки-шприца (11), екран (12), приймач (13), двигун (14), динамік (15), дозатор (16)).

В процесі удосконалення системи Guardian REAL-Time сформульовано вимоги до складових частин ручки-шприца:

1. Для живлення блоків ручки-шприца (блок мікропроцесора, екран, динамік, двигун та приймач) можна використати батарею фірми Energizer 2L76 3В [14].

2. Для забезпечення автоматизації виставлення дози інсуліну у ручці-шприці необхідно встановити мікропроцесор сімейства AVR фірми Atmel [15]. Він являє собою 8-бітний мікропроцесор, який дозволяє виконувати всі необхідні функції (керує роботою двигуна та екрана, отримує інформацію від приймача). Також є невеликим за розмірами, ергономічним, простим у використанні та недорогим.

3. Екран можна використати WG12232D-YFH-VA фірми WINSTAR [16], живленням 3В.

4. Приймач можна використати фірми Melexis TH7122 [17], живленням 3В, із низьким споживанням струму та діапазоном робочих частот від 300 до 930 МГц.

5. Двигун можна використати потужністю до 0,5Вт, струмом споживання до 0,1мА, живленням 3В.

6. Динамік можна використати фірми Sonitron серії Scs-17 [18].

На основі вищесказаного можна продовжити подальше удосконалення системи тривалого моніторингу рівня глюкози в крові людини Guardian REAL-Time, зокрема розробити алгоритм обрахунку необхідної кількості інсуліну.

### **Висновки**

Розроблена схема показує роботу усіх блоків приладу, що дає змогу удосконалити систему тривалого моніторингу Guardian REAL-Time. Удосконалена система може використовуватись особами різної вікової категорії, особливо це стосується людей з вадами зору, оскільки використовується автоматизований обрахунок необхідної кількості інсуліну.

Удосконалений прилад буде зручним у користуванні, не потребуватиме додаткових затрат на розхідні матеріали, та спеціальних навичок. За допомогою цього приладу, можна якнайточніше відкоригувати інсулінотерапію та слідкувати за зміною рівня глюкози протягом тривалого часу.

### **Перелік посилань**

1. Атлас діабету [Електронний ресурс]: (Міжнародна федерація діабету). - 2014. – Режим доступу: <http://www.idf.org/sites/default/files/attachments/Atlas-poster-RU.pdf>
2. У Львівській області розпочались Дні профілактики та раннього виявлення цукрового діабету [Електронний ресурс]: (МОЗ України). – 2014. – Режим доступу: [http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre\\_20141104\\_b.html](http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre_20141104_b.html).
3. Матеріал із Вікіпедії. Глікемія: [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B5%D0%BC%D1%96%D1%8F>
4. Материал из Википедии. Глюкометр: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D1%8E%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>
5. Щербина, Д.А. Методы измерения уровня глюкозы в крови человека / Д.А.Щербина, Е.Б. Яворская // Электронный журнал «Биомедицинская инженерия и электроника». – Херсон, 2012. – № 1.
6. Guardian REAL-Time CGM System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.medtronicdiabetes.com/treatment-and-products/guardian-real-time-cgm-system>
7. Карпова, Е.В. Значение непрерывного мониторинга гликемии у пациентов с сахарным диабетом [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.celt.ru/articles/art/art\\_154.phtml](http://www.celt.ru/articles/art/art_154.phtml)
8. Медична енциклопедія “Medico” [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://medico.su/endokrinologiya/471-norma-cukru-v-krov-u-zhnok-cholovkv-dtey.html>

9. СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ CGMS GOLD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://mes.kiev.ua/produkty/cgms\\_gold.aspx](http://mes.kiev.ua/produkty/cgms_gold.aspx)
10. Мохорт Т.В. Возможности использования системы длительного мониторинга глюкозы при сахарном диабете 1-го типа/ Т.В. Мохорт, Е.С. Махлина, М.А. Машкова // Международный эндокринологический журнал. – К., 2012. №1 (41).
11. Dannea T. A randomized trial comparing the rate of hypoglycemia – assessed using continuous glucose monitoring – in 125 preschool children with type 1 diabetes treated with insulin glargine or NPH insulin (the PRESCHOOL study) /Thomas Dannea, Areti Philotheoub, David Goldmanc et al.// Pediatric Diabetes. – 2013. – P. 19.).
12. Матеріал із Вікіпедії. NPH insulin [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/NPH\\_insulin](https://en.wikipedia.org/wiki/NPH_insulin)
13. Системы мониторинга глюкозы крови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.diadom.ru/catalog/index.php?productID=111&picture\\_id=185](http://www.diadom.ru/catalog/index.php?productID=111&picture_id=185)
14. Energizer PhotoElectronic 2L76 Battery [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.energizer.com/batteries/specialty-lithium-photo/Pages/photo-electronic-2l76.aspx>
15. AVR 8-bit and 32-bit Microcontroller [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>
16. Жидко-кристаллическая матрица (индикатор) WG12232D-YFH-VA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=WG12232D-YFH-VA>
17. TH7122 Transceiver - 27 to 930MHz, FSK/FM/ASK, Multi-Channel [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.melexis.com/Wireless-Multi-Market--Sensing/RFIC-Transceivers-27-to-950MHz/TH7122-121.aspx>
18. АКУСТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ Sonitron [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.insynet.ru/cat/02/096\\_1.htm](http://www.insynet.ru/cat/02/096_1.htm)

### References

- Atlas diabetu [diabetes atlas] [Electronic resource]: (*International Diabetes Federation*). - 2014. – Access mode: <http://www.idf.org/sites/default/files/attachments/Atlas-poster-RU.pdf>
- U Ljvivskij oblasti rozpochalysj dni profilaktyky ta rannjogho vyjavlennja cukrovogho diabetu [In Lviv region started Days prevention and early detection of diabetes] [Electronic resource]: (Ministry of Health ). – 2014. – Access mode: [http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre\\_20141104\\_b.html](http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre_20141104_b.html).
- Material iz Vikipediji. Ghlikemija [Material from Wikipedia. Glycemia]: [Electronic resource]. – 2014. – Access mode: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B5%D0%BC%D1%96%D1%8F>
- Material iz Vikipediji. Ghljukometr [Material from Wikipedia. Glucometer]: [Electronic resource]. – Access mode: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D1%8E%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>
- Shcherbina, D.A., E.B. Yavorskaya (2012) Metody izmereniya urovnya glyukozy v krovi cheloveka [Measuring glucose in human blood]. Kherson, Biomeditsinskaya inzheneriya i elektronika.
- Guardian REAL-Time CGM System [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.medtronicdiabetes.com/treatment-and-products/guardian-real-time-cgm-system>
7. Karpova, E.V. Znachenie nepreryvnogo monitoringa glikemii u patsientov s sakharnym diabetom [The value of continuous monitoring of blood glucose in patients with diabetes mellitus] [Electronic resource]. - Access mode: [http://www.celt.ru/articles/art/art\\_154.phtml](http://www.celt.ru/articles/art/art_154.phtml)
8. Medychna encyklopedija “Medico” [Medical Encyclopedia “Medico”] [Electronic

resource]. - Access mode: <http://medico.su/endokrinologiya/471-norma-cukru-v-krov-u-zhnok-cholovkv-dtey.html>

9. SISTEMA NEPRERYVNOGO MONITORINGA GLYUKOZY CGMS GOLD [Continuous Glucose Monitoring System GOLD] [Electronic resource]. – Access mode: [http://mes.kiev.ua/produkty/cgms\\_gold.aspx](http://mes.kiev.ua/produkty/cgms_gold.aspx)

10. Mokhort T.V., E.S. Makhlina, M.A. Mashkova (2012) Vozmozhnosti ispol'zovaniya sistemy dlitel'nogo monitoringa glyukozy pri sakharnom diabete 1-go tipa [The possibility of using continuous glucose monitoring in diabetes mellitus type 1] K., Mezhdunarodnyi endokrinologicheskii zhurnal.

11. Dannea T. A randomized trial comparing the rate of hypoglycemia – assessed using continuous glucose monitoring – in 125 preschool children with type 1 diabetes treated with insulin glargine or NPH insulin (the PRESCHOOL study) /Thomas Dannea, Areti Philotheou, David Goldmanc et al.// Pediatric Diabetes. – 2013. – P. 1 9.). (In Ukrainian)

12. Material iz Vikipediji. NPH insulin [Material from Wikipedia. NPH insulin]: [Electronic resource]. – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/NPH\\_insulin](https://en.wikipedia.org/wiki/NPH_insulin)

13. Sistemy monitoringa glyukozy v krovі [Continuous glucose monitoring system] [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.diadom.ru/catalog/index.php?productID=111&picture\\_id=185](http://www.diadom.ru/catalog/index.php?productID=111&picture_id=185)

14. Energizer PhotoElectronic 2L76 Battery [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.energizer.com/batteries/specialty-lithium-photo/Pages/photo-electronic-2l76.aspx> (In Ukrainian)

15. AVR 8-bit and 32-bit Microcontroller [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx> (In Ukrainian)

16. Zhidko-kristalicheskaya matritsa (indikator) WG12232D-YFH-VA [Liquid-crystal-matrix (LED)] [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=WG12232D-YFH-VA>

17. TH7122 Transceiver - 27 to 930MHz, FSK/FM/ASK, Multi-Channel [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.melexis.com/Wireless-Multi-Market--Sensing/RFIC-Transceivers-27-to-950MHz/TH7122-121.aspx> (In Ukrainian)

18. AKUSTICHESKIE KOMPONENTY [Acoustic components] Sonitron [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.insynet.ru/cat/02/096\\_1.htm](http://www.insynet.ru/cat/02/096_1.htm)

*Щербина Д. А., Яворська Є. Б. Схема удосконаленої системи тривалого моніторингу рівня глюкози в крові людини. Авторами розроблено блок-схему удосконаленої системи тривалого моніторингу рівня глюкози Guardian Real-Time. Описано роботу блоків та зв'язків між ними. Сформовано вимоги до складових частин ручки-шприца. Отримана блок-схема дозволить удосконалити систему тривалого моніторингу рівня глюкози в крові людини Guardian Real-Time, а саме автоматизувати обрахунок та введення необхідної кількості інсуліну, що в свою чергу дозволить значного спростити інсулінотерапію. Також системою зможуть користуватись люди усіх вікових категорій, а також люди із вадами зору.*

**Ключові слова:** цукровий діабет, глюкоза, система тривалого моніторингу, інсулін, блок-схема.

*Щербина Д. А., Яворская Э. Б. Схема усовершенствованной системы длительного мониторинга уровня глюкозы в крови человека. Авторами разработана блок-схема усовершенствованной системы длительного мониторинга уровня глюкозы Guardian Real-Time. Описана работа блоков и связей между ними. Сформированы требования к составным частям ручки-шприца. Полученная блок-схема позволит усовершенство-*



вать систему длительного мониторинга уровня глюкозы в крови человека Guardian Real-Time, а именно автоматизировать расчет и ввод необходимого количества инсулина, что в свою очередь позволит значительно упростить инсулинотерапию. Также системой смогут пользоваться люди всех возрастных категорий, а также люди с недостатками зрения.

**Ключевые слова:** сахарный диабет, глюкоза, система длительного мониторинга, инсулин, блок-схема.

*Shcherbyna D. A., Yavorska E. B. **Block diagram of the improved continuous glucose monitoring system of human's blood.***

*Introduction. The glucose monitoring is an important issue diagnostic of diabetes. Based on analysis of the devices continuous glucose monitoring system Guardian REAL-Time selected for improvement.*

*Research results. Designed flow diagram of the improved continuous glucose monitoring system Guardian Real-Time. Described the blocks and connections between them. Requirements regarding the components of pen-syringe.*

*Conclusions. The resulting block scheme will improve the continuous monitoring glucose system in the blood Guardian Real-Time, such as automated calculation and enter the required amount of insulin, which in turn will significantly simplify insulin therapy. Also, the system will use people of all ages and people with visual impairments.*

**Keywords:** diabetes, continuous glucose monitoring system, insulin, flowchart.