

## ПРОГРАМНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМ ЛІЖКОМ «BEDDEST»

Єлісеєва М.С., студент магістратури кафедри ПІ,  
e-mail: mariia.yelisieieva@nure.ua

Науковий керівник: к.т.н., доц. кафедри ПІ Мазурова О.О.  
Харківський національний університет радіоелектроніки

The research is devoted to the optimization of the human sleep process regulation with the object of the Internet of things such as smart bed. The factors that affect the sleep quality were described, the market of smart beds was analyzed, the formal model of high quality sleep and the bed model that affects sleep quality the most was build. The system of the smart bed was provided.

Ключові слова: Інтернет речей, фактори якості сну, розумне ліжко, положення тіла, температурний режим

Сучасне життя важко уявити без використання технологій Інтернету речей. Сутність Інтернету речей складається у взаємодії будь-якого пристрою не лише з користувачем, але і з мережею інших Інтернет-пристроїв. Перспективи розвитку таких технологій обумовлені бажанням людства скоротити витрати часу на побутові механічні дії та отримувати від них найбільш ефективні результати шляхом переходу на все більш автоматизовані системи.

Близько третини свого життя людина витрачає на сон, саме сон визначає ступінь активності організму протягом дня, і, як наслідок, ефективності діяльності. Якість сну напряму впливає як на якість, так і на тривалість життя людини. Саме через це питання забезпечення якості сну потребує поглиблених досліджень, а методи – подальших удосконалень. Одним із напрямків покращення якості сну є використання технологій Інтернету речей.

На сьогодні існує велика кількість програмних рішень цієї проблеми.

Ліжко Valluga, створене Джо Катаном – один із таких продуктів. Основною перевагою цього ліжка вважається матрац, який наповнений замість звичайних пружин системою сферичних комірок, які сдуваються чи надуваються одна окремо від одної, також в ліжку є клімат-контроль і функція вібромасажу. Основним недоліком є регулювання положення ліжка за рахунок фізичних

навантажень на нього, що не завжди призводить до бажаного користувачем результату [1].

Ліжко Sleep Number x12 від Ендрю Росмана надає перевагу зчитуванню стану користувачів, через що претендує на більшу спорідненість із Інтернетом речей. Sleep Number x12 має такі датчики:

- датчик дихання;
- датчик серцевих скорочувань користувача;
- датчик хропіння;
- датчик тиску, який намагається визначити положення користувача під час сну;
- датчик голосових команд;
- датчик руху [2].

Всі наведені датчики збирають інформацію, користуючись якою можна налагодити оптимальну систему покращення сну користувачів, але ліжко Sleep Number x12 не має достатнього впливу на фізичний стан користувача під час сну чи відпочинку, корегуючи лише положення голови, якщо почує хропіння, або освітлення в кімнаті, коли розпізнає необхідну команду. Решта інформації іде на формування деяких порад щодо сну, які користувач може продивитися лише після свого відпочинку, і в більшості випадків зміни повинен буде організувати самостійно.

### **Постановка задачі**

Таким чином, актуальною є задача математичного моделювання в області керування здоровим сном для створення програмної системи, що зможе максимально самостійно забезпечувати користувачу умови наближені до оптимальних. Отже, задача дослідження полягає в необхідності:

- дослідити фактори, що впливають на якість сну людини;
- дослідити технічні рішення, які вже були впроваджені для вирішення проблем предметної області, та розробити власну технічну модель ліжка;
- розробити оптимізаційну модель керування ліжком, що дозволить робити ефективний вплив на якість сну людини;
- розробити архітектуру та реалізувати програмну систему керування ліжком, що відповідає критеріям, виявленим на етапі дослідження.

### **Дослідження факторів якості сну людини**

Цикл сон-неспанння являє собою одне з очевидних внутрішніх циркадних (добових) ритмів організму. Періодичність сну є життєвою необхідністю для функціонування організму людини. При депривації сну (розтягування фази неспанння в часі), вже на третю добу розвивається емоційна нестійкість, стан депресії, різко знижується увага, пам'ять та розумова працездатність. Основною функцією сну є відновлення фізичних та психічних сил, які дозволяють максимально адаптуватися до змін внутрішнього та зовнішнього середовища. Під час сну мозкова активність перебудовується, інформація, що була отримана в фазі неспанння переходить з проміжної у довгострокову пам'ять.

На сьогодні існують багато досліджень сну і його необхідності для функціонування організму людини, різних стадій сну людини і факторів, що впливають на його якість. Згідно з класифікацією [3] фактори якості сну поділяються на чотири групи (див. рис. 1):

1) ендогенні фактори (зв'язані з природною втомлюваністю та гіпногенними речовинами, наприклад, серотонін);

2) ті, що діють за ритмом (так званий внутрішній годинник, що за нормальних обставин циклічно провокує організм людини переходити в стан сну);

3) умовно-рефлекторні фактори (звикання до певного часу сну, його тривалості та ін.);

4) безумовні фактори (ті, в які входять навколишні чинники, такі як темрява, спокій, положення тіла, вплив температури та ін.).



Рисунок 1 – Класифікація факторів якості сну

Для даного дослідження будемо розглядати сон здорової людини, для якої усі показники факторів першої та другої груп знаходяться у рамках норми.

Серед факторів третьої групи на якість людського сну основний вплив має його тривалість. Нормальна тривалість сну людини відрізняється в залежності від віку. Так, для новонароджених рекомендованою спеціалістами тривалістю сну є 11-18 годин на день, дітям до 2 років – 9-15 годин, до 13 – 7-11 годин; дорослим до 25 – 6-10 годин, і після 25 років нормальною тривалістю вважається 6-9 годин сну.

Сон поділяється на два типи: повільний та швидкий.

Вони циклічно ідуть один за одним з періодичністю близько 1,5 години [4]. Фази повільного сну після засинання займають майже весь період, після чого скорочуються за рахунок збільшення тривалості фаз швидкого сну. Однак, треба розуміти індивідуальність процесів, що проходять в організмі людини під час сну.

Вплив звикання до певного часу сну людини на його якість також є суб'єктивним поняттям, бо залежить в основному від циркадного циклу людини і факторів четвертої групи, безумовних. Найважливішим безумовним чинником вважається освітлення в приміщенні [5]. Саме від природного освітлення залежить циркадний ритм людини, який регулює рівень речовин, що впливають на появу відчуття сонливості.

Розглянемо більш детально такі фактори четвертої групи, як температура тіла людини, температура в приміщенні, атмосферний тиск і положення тіла.

З наближенням ночі температура людини незначно падає та досягає найнижчого рівня близько 5 ранку, після чого починає природньо підійматися. Завелика температура в приміщенні для сну може перешкодити засинанню або зробити сон неспокійним, а занижка температура вранці – ускладнити процес пробудження людини.

Положення тіла людини під час сну також суттєво впливає на його якість. Розглянемо основні положення людини уві сні і рекомендації щодо організації постілі для кожного з них:

– сон на спині:

1) для зручного положення шиї подушка має бути трохи піднятою над рівнем матрацу і бути нахиленою під невеликим кутом так, щоб найвища точка подушки була під шиєю;

2) щоб уникнути напруги в області попереку рекомендується підкладати невеликий рулон під коліна.

– сон на боці:

1) подушка має бути піднята на рівень шиї, щоб запобігти її вигинання під час сну;

2) матрац повинен бути середньої твердості аби зберігати природне положення хребту людини;

– сон на животі:

1) подушка має бути тонкою або не має бути зовсім аби забезпечити комфортне положення шиї;

2) матрац має бути твердіший за середній, щоб уникнути небажаного вигинання хребту.

Отже модель сну людини можемо представити як

$$S = \langle B, P \rangle, \quad (1)$$

де  $B$  – стан ліжка,  $P$  – стан людини під час сну.

Треба розуміти, що вплив твердості матрацу, висоти та твердості подушки та інших атрибутів постілі суто індивідуальний для кожної людини. Основні поради спеціалістів щодо положення людини уві сні усереднені і можуть відрізнятися для різних людей.

### **Опис моделі керованого ліжка**

В рамках дослідження була розроблена модель ліжка, яке буде використане як основа для системи розумного ліжка.

Увесь матрац, який стане частиною розумного ліжка, складається з окремих блоків фіксованого розміру, які кріпляться до основи ліжка. На кожному з таких блоків закріплений механізм підняття і повороту блоку уздовж довжини ліжка, вони розміщені на незначній відстані один від одного для більшої рухливості.

Кожен блок має бути порожній усередині та зроблений із міцного еластичного матеріалу. Саме в нього закачуватиметься матеріал, який регулює щільність внутрішності, а отже, і твердість блоку. Матеріал повинен надавати рівномірний тиск на стінки еластичного тіла, маса матеріалу в обмеженому обсязі повинна бути обмеженою так, щоб значення тиску не наближатися до

граничного, в якості такого матеріалу можна використовувати повітря. Регулюючи кількість додаткових шарів зовнішньої частини, можна виготовляти блоки, які дозволяють регулювати свою твердість у декількох діапазонах (див. рис. 2). Блоки мають бути оснащені датчиками тиску, щоб отримувати актуальну інформацію про положення користувача і реагувати на неї.

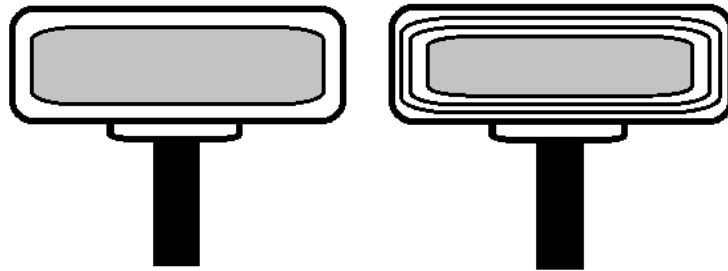


Рисунок 2 – Моделі блоків

Також необхідно доповнити модель ліжка ковдрою з точковими нагрівальними елементами і датчиками температури як внутрішньої (простір між матрацом та ковдрою), так і зовнішньої для адекватної зміни температури нагрівальних елементів згідно з замірами датчиків та часу циркадного циклу користувача.

В результаті отримуємо ліжко, яке в змозі регулювати такі параметри моделі сну, як параметри подушки, матрацу та інших атрибутів постілі (як додаткова подушка під ноги – один з чотирьох блоків матрацу) відносно положення тіла людини, температурний режим. При цьому будуть враховані вподобання користувача, що будуть фіксуватися за допомогою спеціальних додатків в системі розумного ліжка.

Отже, стан ліжка

$$B = f_B(B_1, B_2, B_3, B_4) \quad (2)$$

визначається станом подушки  $B_1$ , станом матрацу  $B_2$ , додатковими атрибутами постілі  $B_3$  та температурою ліжка  $B_4$ .

Стан подушки, матрацу та постілі визначається наступними параметрами: висотою ( $p_1$ ), рівнем твердості ( $p_2$ ) та кутом нахилу ( $p_3$ ), отже:

$$B_1 = f_1(p_1, p_2, p_3),$$

$$B_2 = f_2(p_1, p_2),$$

$$B_3 = f_3(p_1, p_2, p_3).$$

Внесемо логічні обмеження на ці параметри: висота не має перевищувати 20 см, кут нахилу в обидві сторони відносно довжини ліжка не має перевищувати 30°:

$$0 < p_1 < 20$$

$$-30^\circ < p_3 < 30^\circ.$$

Якість сну людини залежить не тільки від розташування атрибутів постілі, а також від положення тіла користувача, деяких погодних умов та користувацьких вподобань. Під вподобаннями людини розуміються додаткові обмеження, які користувач може налаштувати для свого сну (певні параметри атрибутів постілі, температура та ін.), щоб забезпечити суб'єктивну оптимальність якості свого сну.

Також треба зауважити, що задля оптимізації якості сну декілька параметрів можуть бути залежними один від одного, як оптимальна температура ліжка має залежати від часу доби, а параметри подушки, матрацу та інших атрибутів постілі мають залежати від положення людини, та вподобань користувача.

На рисунку 3 зображений приклад екранної форми емулятора стану ліжка в активному режимі – під час використання. Можна побачити, що датчики тиску активні і визначають положення людини на ліжку, а блоки матрацу налаштовані за вимогою користувача: відрегульовані за висотою відносно основи ліжка, кутом нахилу, а також твердістю (на рисунку твердість умовно показана яскравістю рожевого кольору на блоці, чим яскравіший блок – тим більша в нього твердість).

### **Оптимізаційна модель керування ліжком**

Оптимальний стан розумного ліжка (2) можна знайти як рішення задачі векторної оптимізації [6, 7]

$$B^{opt} = \underset{B \in DB}{\text{extremum}} Q(B), \quad (3)$$

де  $Q$  – функція вибору найкращого налаштування ліжка;  $B = \{B^i\}_{i=1}^n$  – множина різноманітних налаштувань стану ліжка;  $DB$

– область можливих налаштувань ліжка.

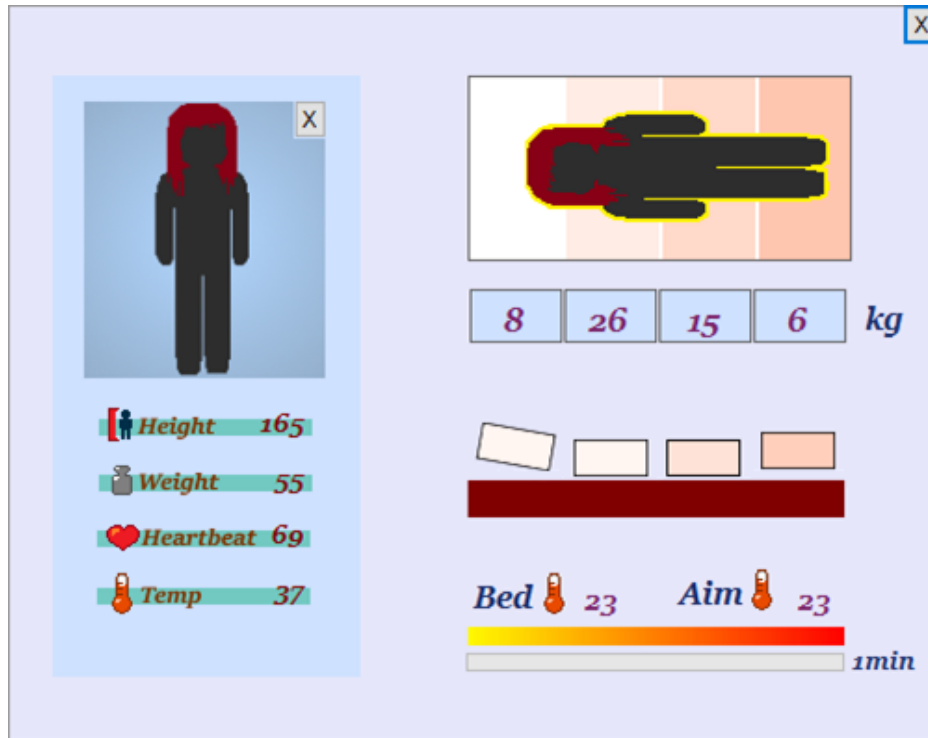


Рисунок 3 – Екранна форма емулятора ліжка в активному стані

Для пошуку оптимального стану ліжка для досягнення якості сну, наближеної до оптимальної, оберемо принцип оптимальності  $Q$  на базі теорії корисності, використавши лінійну адитивну згортку з ваговими коефіцієнтами [7]:

$$B^{opt} = \max \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i K_i(B_j), \quad (4)$$

де  $\alpha_i$  – нормуючі множники,  $\beta_i$  – вагові коефіцієнти, що відображають відносний внесок окремих факторів до загального фактору;  $K_i(B_j)$ , – оцінка і-того стану ліжка за j-тим критерієм якості.

Множина критеріїв якості, за якими може бути оцінено якість стану ліжка

$$K = \{ K_1, K_2, K_{3..n} \}, \quad (5)$$

де  $K_1$  – оцінка положення людини під час сну,  $K_2$  – оцінка відповідності сну циркадному ритму користувача,  $K_{3..n}$  – статистичні оцінки якості сну у відповідності до вподобань людини.

## Опис архітектури програмної системи

Архітектурне рішення програмної системи складається з декількох модулів:

- емулятор розумного ліжка (згідно с моделлю, що була описана вище);
- мобільний додаток (дозволяє користувачам регулювати параметри ліжка, налаштовувати власні вподобання та формувати фідбек про якість свого сну для подальшої оптимізації);
- веб-сайт для гостей, не зареєстрованих у системі;
- сервер з базою даних, на якому будуть оброблятися запити ззовні, і зберігатися вся інформація про систему, її користувачів, їх налаштування та особисті уподобання.

На рисунку 4 представлена діаграма розгортання, що наочно зображує архітектуру реалізованої системи: модулі системи та зв'язки між ними.

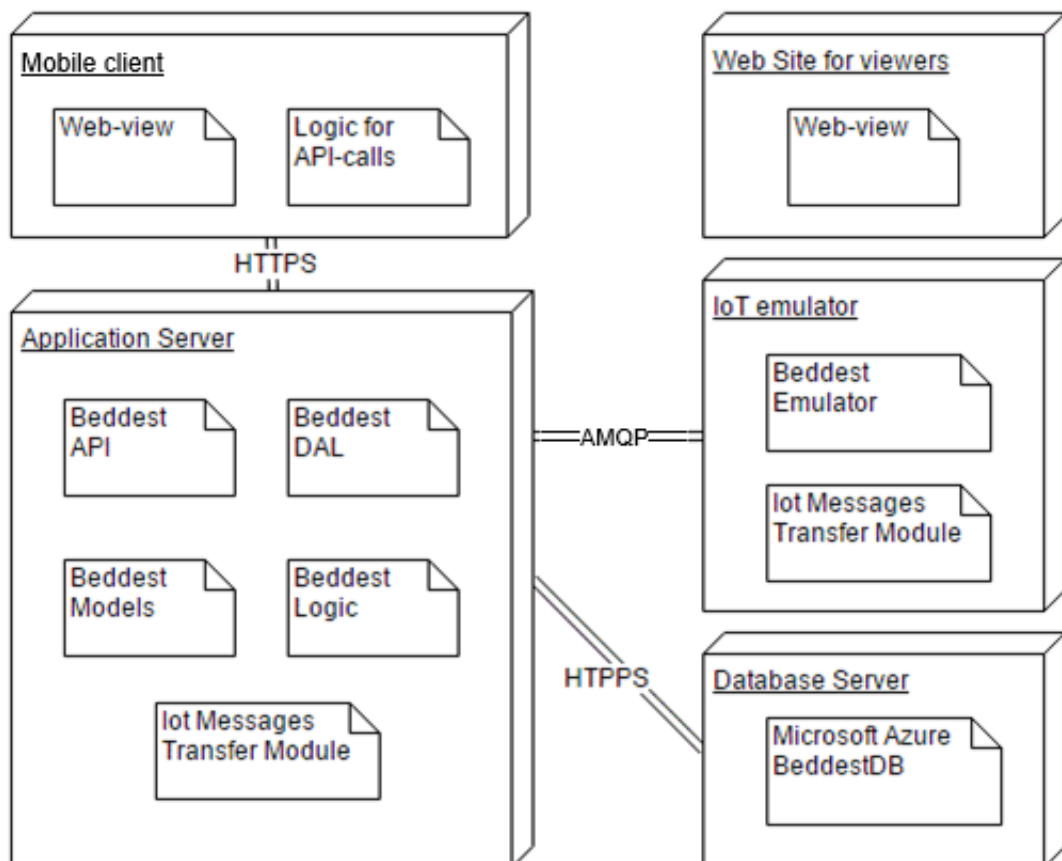


Рисунок 4 – Діаграма розгортання

В реалізації системи використовувалися мова програмування C#, технології ASP.NET WebAPI, WPF та середовища розробки Microsoft Visual Studio (для розробки серверу та емулятору), сервіс Microsoft Azure IoT (для транспортування повідомлень між сервером та емулятором предмету Інтернету речей), HTML, CSS, AngularJS (веб-сайт), та мову програмування Java і середовище розробки Android Studio (мобільний додаток).

Дані між модулями системи мають транспортуватися за допомогою HTTPS протоколу (наразі для дослідницьких цілей достатньо тільки незахищеного HTTP), для відправлення повідомлень від IoT-пристрою до серверу і навпаки використовується AMQP протокол.

### **Опис програмної системи керуванням розумним ліжком “Beddest”**

В результаті була отримана система керування розумним ліжком “Beddest”. Приклади екранних форм системи наведені на рисунках 4 і 5. На рисунку 4 зображена екранна форма емулятору розумного ліжка у стані спокою. На рисунку 5 зображені екранні форми веб-сайту, з якого можна регулювати ліжко.

Розроблена система дозволяє:

- реєструвати нове, або обирати одне з зареєстрованих ліжок;
- керувати налаштуваннями висоти та твердості усіх блоків матрацу;
- керувати налаштуваннями кута нахилу блоків під головою і ногами користувача (блоки автоматично визначаються за допомогою датчиків тиску);
- керувати налаштуваннями температурного режиму;
- обирати один із режимів, що популярні серед інших користувачів;
- автоматично підлаштовуватися під зміни положення людини, що визначається за допомогою датчиків тиску;
- автоматично змінювати температуру внутрішнього середовища ліжка (залежно від інформації з датчиків температури та циркадного ритму людини, що стає більш точнішим з часом користування системою) для створення більш комфортних умов засинання та пробудження користувача;
- отримувати фідбек про якість сну для подальшої оптимізації роботи автоматизованих модулів системи.

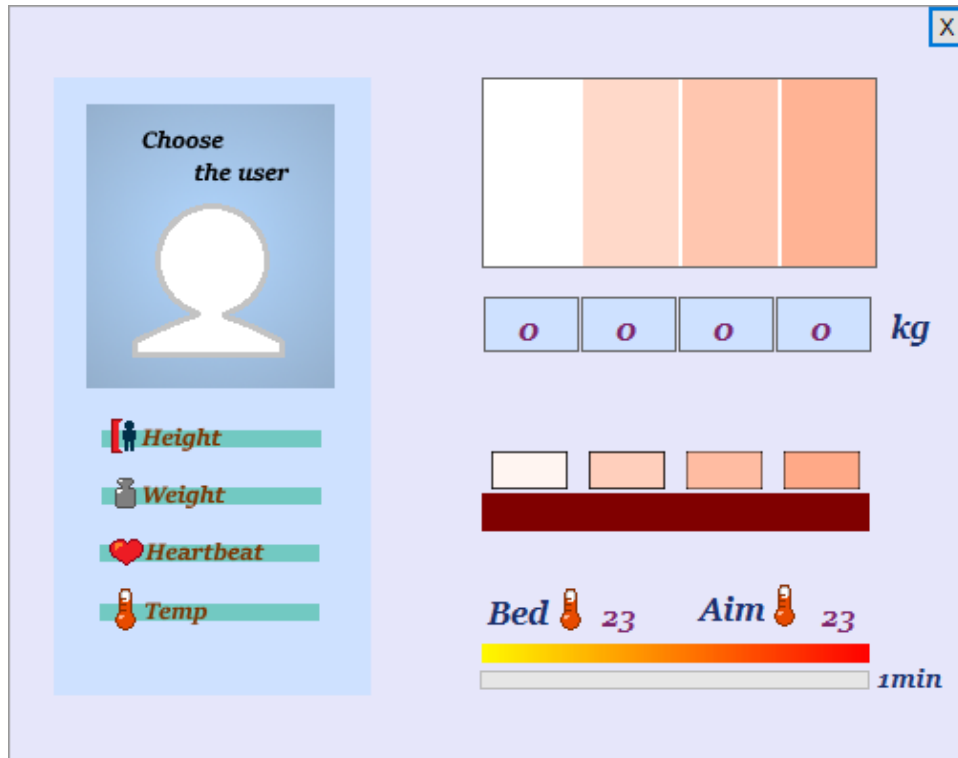


Рисунок 4 – Екранна форма емулятора ліжка у стані спокою

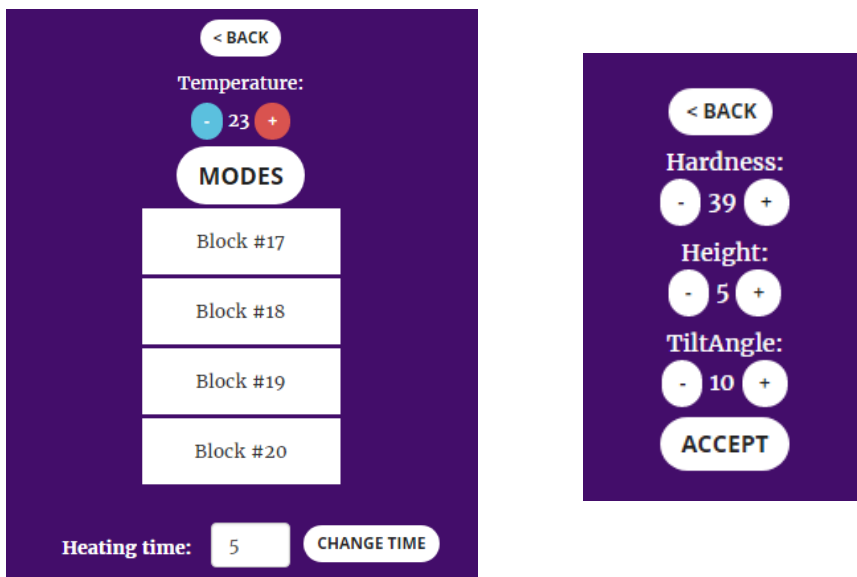


Рисунок 5 – Екранна форма емулятора ліжка в активному стані

Новизною розробки є використання серед параметрів нових показників, порівняно з існуючими аналогами, зокрема індивідуальні вподобання користувачів, окреме налаштування блоків матрацу, такі параметри блоків, як кут нахилу, твердість та висота підняття блоку над рівнем постілі, налаштування

температурного режиму. Це дозволяє найбільш повно впливати на якість сну користувача.

Таким чином в ході дослідження були виявлені фактори, що впливають на якість сну людини, серед них були обрані ті, що можуть бути регульовані за допомогою розумного ліжка, проаналізовані аналогічні розробки; побудована модель якісного сну людини, а також модель ліжка, яке буде використовуватися в системі, і, нарешті, реалізована система розумного ліжка “Beddest”, що дозволяє зробити якість сну користувачів наближеною до оптимальної.

### Література.

1. Balluga [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kickstarter.com/projects/684490728> (дата звернення: 29.03.2018). – Загол. з екрану.
2. Sleep Number x12 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://itc.ua/news/sleep-number-x12-umnaya-krovat-dlya-uluchsheniya-kachestva-sna/> (дата звернення: 29.03.2018). – Загол. з екрану.
3. Doris Moser, Peter Anderer, Georg Gruber Sleep Classification According to AASM and Rechtschaffen & Kales: Effects on Sleep Scoring Parameters [Текст] // Vol. 32, Issue 2, pp 139–149, 2009
4. Helen B. Lewis, Arthur Shapiro Dream reporting following abrupt and gradual awakenings from different types of sleep [Текст] // Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 2, pp. 170-179, 2016.
5. Физиология процесса сна [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://anatomus.ru/physiology/son.html> (дата звернення: 10.04.2018) – Загол. з екрану.
6. Гребеннік І.В. Методи підтримки прийняття рішень: навч. посібник / І.В.Гребеннік, Т.Є.Романова, А.Д.Тевяшев, Г.М.Яськов; МОН України, Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2010. – 127 с.
7. Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: монография / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходакова ; под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д. С., 2013. – 282 с. : іл. – ISBN 978-617-7123-23-0.