

Н.А. Жолдас<sup>1</sup> , Г.А. Тюлепбердинова<sup>1\*</sup> , А.М. Мейрманова<sup>2</sup> , М.М. Кунелбаев<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Astana IT University, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: [tyulepberdinova@gmail.com](mailto:tyulepberdinova@gmail.com)

## СТРЕСС ДЕҢГЕЙІН БАҚЫЛАУ: ІОТ ШЕШІМДЕРГЕ ШОЛУ МЕН ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ИНДИКАТОРЛАР

### Аңдатпа

Созылмалы стресс адамдардың әл-ауқатын, өнімділігі мен денсаулығын анықтайтын негізгі элемент болып табылады. Оның ұзақ әсер етуі жүрек пен қан тамырларының патологиясын тудыруы, ұйқыны нашарлатуы, эмоционалды өзгерістерді тудыруы және когнитивті функцияларды төмендетуі мүмкін. Осы себепті ерте диагностика және стресстік жағдайды үнемі бақылау цифрлық медициналық технологияларды дамытудың басым бағыттарының бірі болып табылады. Бұл материал стресс деңгейін бақылау үшін заттар интернетін және физиологиялық көрсеткіштерді пайдалану перспективаларын талқылайды. Жұмыс стресстік жағдайды бағалау контекстінде жүрек соғу жиілігі, жүрек соғу жиілігінің өзгергіштігі, тері-гальваникалық реакция, дене температурасы, тыныс алу жиілігі және қанның оттегімен қанықтылығы сияқты параметрлердің маңыздылығын егжей-тегжейлі зерттеуге арналған. Сонымен қатар, киілетін құрылғыларды, ақылды сенсорларды және қашықтан басқару жүйелерін қамтитын ұсынылған зерттеу талданады. Салыстырмалы түрде қолданылатын жүйелердің әрқайсысының негізгі параметрлері, соның ішінде орнатылған сенсорлардың түрлері, деректерді жіберу әдістері және қолданыстағы шектеулер қарастырылады. Нәтижелер Заттар интернеті тұжырымдамасын қолдану физиологиялық көрсеткіштерді жедел жинауға және талдауға мүмкіндік беретіндігін көрсетеді, бұл пайдаланушының өзіне де, медицина қызметкерлеріне де жедел ақпарат беруге мүмкіндік береді. Прогреске қарамастан, қозғалыстардың датчиктердің көрсеткіштеріне әсері, олардың кеңістікте орналасуы, алынған мәліметтердің сенімділігі, энергия шығыны және стрессті бірнеше санатқа жіктеу сияқты аспектілер жеткілікті түрде зерттелмеген. Сондықтан перспективалы ғылыми жұмыстарда Сенсорлардан сигналдарды интеллектуалды өңдеуге, Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануға және стресс деңгейін бақылаудың жекелендірілген жүйелерін құруға басты назар аудару керек.

**Түйін сөздер:** стресс, физиологиялық индикатор, сенсор, заттар интернеті, IoT, жүрек соғу жиілігі, тері өткізгіштігі, киілетін құрылғы.

Н.А. Жолдас<sup>1</sup>, Г.А. Тюлепбердинова<sup>1</sup>, А.М. Мейрманова<sup>2</sup>, М.М. Кунелбаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Astana IT University, г. Астана, Казахстан

## КОНТРОЛЬ УРОВНЯ СТРЕССА: ОБЗОР ІОТ-РЕШЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

### Аннотация

Хронический стресс является ключевым элементом, определяющим благополучие, работоспособность и здоровье людей. Его длительное воздействие может вызвать патологии сердца и кровеносных сосудов, ухудшить сон, вызвать эмоциональные изменения и снизить когнитивные функции. По этой причине ранняя диагностика и постоянный контроль стрессовой ситуации являются одними из приоритетных направлений развития цифровых медицинских технологий. В этом материале обсуждаются перспективы использования интернета вещей и физиологических показателей для контроля уровня стресса. Работа посвящена детальному изучению важности таких параметров, как частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма, кожно-гальваническая реакция, температура тела, частота дыхания и насыщение крови кислородом в контексте оценки стрессовой ситуации. Кроме того, анализируется предлагаемое исследование, включающее носимые устройства, интеллектуальные датчики и системы дистанционного управления. Рассматриваются основные

параметры каждой из относительно используемых систем, включая типы установленных датчиков, методы передачи данных и существующие ограничения. Результаты показывают, что использование концепции Интернета вещей позволяет оперативно собирать и анализировать физиологические показатели, что позволяет оперативно предоставлять информацию как самому пользователю, так и медицинскому персоналу. Несмотря на прогресс, такие аспекты, как влияние движений на показания датчиков, их пространственное расположение, надежность полученных данных, расход энергии и классификация напряжений на несколько категорий, недостаточно изучены. Поэтому в многообещающих научных работах основное внимание должно быть уделено интеллектуальной обработке сигналов от датчиков, использованию алгоритмов машинного обучения и созданию персонализированных систем контроля уровня стресса.

**Ключевые слова:** стресс, физиологический индикатор, сенсор, интернет вещей, IoT, частота сердечных сокращений, кожная проводимость, носимое устройство.

N.A. Zholdas<sup>1</sup>, G.A. Tyulepberdinova<sup>1</sup>, A.M. Meyrmanova<sup>2</sup>, M.M. Kunelbaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Astana IT University, Astana, Kazakhstan

## STRESS LEVEL MONITORING: A REVIEW OF IOT SOLUTIONS AND PHYSIOLOGICAL INDICATORS

### *Abstract*

Chronic stress is a key element that determines the well-being, performance and health of people. Its prolonged exposure can cause pathologies of the heart and blood vessels, impair sleep, cause emotional changes and reduce cognitive functions. For this reason, early diagnosis and constant monitoring of a stressful situation are one of the priorities in the development of digital medical technologies. This material discusses the prospects for using the Internet of things and physiological indicators to control stress levels. The work is devoted to a detailed study of the importance of parameters such as heart rate, heart rate variability, skin-galvanic response, body temperature, respiratory rate and blood oxygen saturation in the context of assessing a stressful situation. In addition, the proposed study, which includes wearable devices, smart sensors and remote control systems, will be analyzed. The main parameters of each of the relatively used systems are considered, including the types of installed sensors, data transmission methods and existing restrictions. The results show that the use of the concept of the Internet of things makes it possible to quickly collect and analyze physiological indicators, which makes it possible to promptly provide information both to the user himself and to medical personnel. Despite progress, aspects such as the effect of movements on the readings of sensors, their location in space, the reliability of the data obtained, energy consumption and classification of stress into several categories have not been sufficiently studied. Therefore, in promising scientific works, the main attention should be paid to intelligent processing of signals from sensors, the use of machine learning algorithms and the creation of personalized systems for monitoring stress levels.

**Keywords:** stress, physiological indicator, sensor, Internet of Things, IoT, heart rate, skin conductance, wearable device.

### **Кіріспе**

Қазіргі шындықта стресстік жағдай күнделікті өмірге мықтап енеді, бұл кәсіби міндеттерге, әлеуметтік ортаның өзгеруіне және ақпарат ағынының күшеюіне байланысты. Сонымен қатар, қысқа мерзімді стресстік әсерлер кейде дененің пайдалы бейімделу механизмі ретінде әрекет етеді. Алайда, бұл жағдайда ұзақ уақыт болу тек эмоционалды тепе-теңдікте ғана емес, сонымен бірге адамның физикалық әл-ауқатында да зиянды көрінеді. Ғылыми дереккөздер ұзаққа созылған стресс жүрек-қан тамырлары патологиясының, депрессиялық бұзылулардың, ұйқының бұзылуының және басқа психосоматикалық бұзылулардың ықтималдығын арттыратынын көрсетеді [1].

Әдетте стресс дәрежесін бағалау үшін сауалнамалар, дәрігермен әңгімелер, өзін-өзі тексеру шкалалары және кәсіби тексеру қолданылады. Алайда, бұл тәсілдер адамның жеке қабылдауына сүйенеді, сондықтан олар әрқашан оның нақты физиологиялық жағдайын сенімді түрде жеткізе бермейді. Сонымен қатар, сауалнамалар мен клиникалық зерттеулер стресс динамикасын үздіксіз бақылауды қамтамасыз етпей, тек жедел жағдайды жазады [2].

Осыған байланысты соңғы уақытта физиологиялық сигналдар негізінде жұмыс істейтін автоматтандырылған бақылау жүйелеріне қызығушылық артып келеді.

Интернет заттары мен киілетін сенсорлар технологияларының дамуы стресс деңгейін бақылауды түбегейлі жаңа деңгейге көтерді. Мұндай гаджеттер импульс, тері өткізгіштігі, дене температурасының көрсеткіштері, тыныс алу қозғалысының жиілігі және қанның оттегімен қанықтылығы сияқты физиологиялық параметрлерді үздіксіз түсіре алады. Алынған ақпарат адамның қазіргі физиологиялық жағдайын нақты уақыт режимінде бағалауға, стресстік жағдайдың алғышарттарын уақтылы анықтауға және оның алдын алу шараларын жедел ұсынуға мүмкіндік береді [3]. Ақылды білезіктерді, сақиналарды және биосенсорлы гаджеттерді, сондай-ақ қашықтан басқару шешімдерін қоса алғанда, киілетін электроника Денсаулық сақтау, оқыту, өнеркәсіп және кеңсе жұмыстарында қолдану үшін оңтайлы болып табылады [4].

Стрессті бақылаудың маңыздылығы әртүрлі қызмет салаларында көрінеді. Сонымен, жұмыс орындарындағы қызметкерлердің психофизиологиялық көрсеткіштерін бақылау еңбек тиімділігін арттыруға және кәсіби күйіп қалу қаупін азайтуға мүмкіндік береді. Білім алушылардағы стресс деңгейін бағалау білім беру процесін оңтайландыруға ықпал етеді, ал медициналық тәжірибеде мұндай жүйелер пациенттердің жағдайын қашықтан бақылауды қамтамасыз етеді және дәрігерлерге диагностика үшін қосымша деректер береді [5,6].

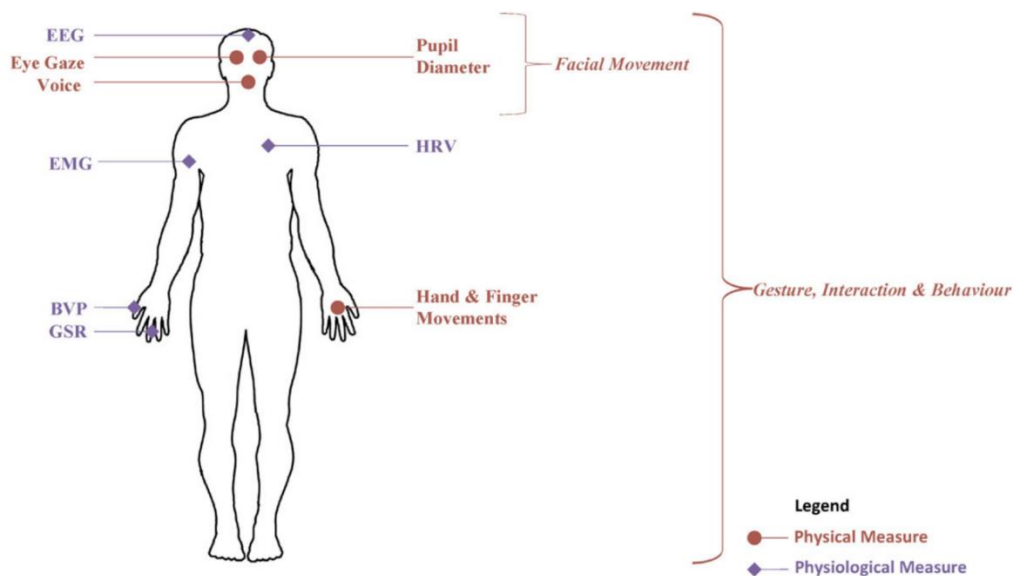
Бұл материал интернет заттарының (IoT) технологияларына және стрессті бақылау үшін қолданылатын физиологиялық маркерлерге шолу жасайды. Зерттеудің негізгі міндеті-стресстік жағдайларды, ақпаратты жинау және өңдеу әдістерін бақылауда және қолданыстағы IoT жүйелерінің күшті және әлсіз жақтарын анықтауда қолданылатын сенсорлар мен физиологиялық көрсеткіштерді талдау. Сонымен қатар, зерттелген дереккөздерге сүйене отырып, стресс деңгейін басқаруға арналған IoT жүйесінің жалпы архитектуралық құрылымы сипатталған.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Бұл бөлімде стресс деңгейін бағалау үшін қолданылатын физиологиялық және физикалық параметрлер талданады. Стресстік жағдай вегетативті жүйке жүйесінің жұмысымен тығыз байланысты болғандықтан, ол жүрек-қан тамырлары, тыныс алу, бұлшықет жүйелері мен терінің реакцияларында көрінеді. Осыған байланысты стрессті бақылау кезінде тек бір индикаторға сүйену жеткіліксіз болуы мүмкін. Дәлірек және сенімді бағалауды қамтамасыз ету үшін бір уақытта бірнеше физиологиялық сигналдарды кешенді талдау қажет.

Стресс деңгейін бағалау үшін келесі физиологиялық көрсеткіштер жиі қолданылады: ЭЭГ, ЭМГ, импульстік толқын, жүрек соғу жиілігінің өзгергіштігі, сондай-ақ тері-гальваникалық реакция [7]. Бұл көрсеткіштер адамның психофизиологиялық мәртебесінің динамикасын әр түрлі жағынан көрсетеді. Сонымен, энцефалограмма мидың белсенділігін түсіреді, ал электромиография бұлшықет кернеуінің дәрежесін өлшейді. Өз кезегінде, жүрекмовағының жиілігі мен өзгергіштігі дененің стресс факторларының әсеріне бейімделу дәрежесін талдаудың негізгі көрсеткіші болып табылады.

Келесі 1-суретте стресс деңгейін бағалау үшін қолданылатын физикалық және физиологиялық параметрлер көрсетілген. Физиологиялық маркерлер ЭЭГ, ЭМГ, жүрек ритағының өзгергіштігі (HRV), тері-гальваникалық реакция (GSR) және импульстік толқын (BVP) қамтиды. Өз кезегінде физикалық индикаторлар мимика, көздің қозғалысы, оқушылардың мөлшері, вокалдық сипаттамалары, қолдар мен саусақтардың белсенділігі арқылы бекітіледі. Егер біріншісі сыртқы мінез-құлықтың өзгеруін көрсетсе, онда физиологиялық сигналдар дененің ішкі реакцияларын дәлірек көрсетеді.



Сурет 1. Стрестті анықтауда қолданылатын жалпы физикалық және физиологиялық көрсеткіштер [7]

Электрокардиография стресстік жағдайларды бақылаудың негізгі құралы болып табылады. Бұл әдіс жүректің электрлік импульстарын түсіреді, бұл оның жиырылу ритмі мен жиілігін талдауға мүмкіндік береді. Стресс жағдайында жүйке жүйесінің симпатикалық бөлімінің белсендірілуі байқалады, бұл импульстің ауытқуымен бірге жүреді. Мұндай физиологиялық өзгерістерді ЭКГ арқылы бекіту эмоционалды шиеленіске жеке реакцияны объективті бағалауды қамтамасыз етеді [8].

Фотоплетизмография-жарық толқындарының сіңуін немесе шағылысуын талдау арқылы қан ағымының ауытқуын бекітуге негізделген оптикалық әдіс. Бұл әдіс импульстік оксиметрлерде, ақылды сағаттарда және басқа да киюге болатын медициналық гаджеттерде кеңінен қолданылады. FPG арқасында жүрек соғу жиілігін және вариацияның өзгергіштігін өлшеу мүмкін болады, бұл жүрек-қан тамырлары жүйесінің стресстік әсерге бейімделуін бақылауға мүмкіндік береді [9].

Электродермальды белсенділік көрсеткіші терінің электр өткізгіштігінің ауытқуын көрсетеді. Стресс немесе эмоционалды қозу сәттерінде тер бездерінің жұмысы күшейеді, бұл терінің өткізгіштігінің өзгеруіне әкеледі. Осыған байланысты еда және GSR есептегіштері стресс деңгейін бақылаудың негізгі құралы болып табылады. Бұл көрсеткіш мазасыздық, қорқыныш, мазасыздық және эмоционалды шамадан тыс жүктеме сияқты жағдайларды диагностикалау мен бақылауда ерекше мәнге ие [10].

Дене температурасын өлшеу стресстік жағдайды бақылау деректерін толықтыратын маңызды көрсеткіш ретінде әрекет етеді. Психоэмоционалды шиеленіс кезінде вазоконстрикция немесе кеңею пайда болады, бұл термометриялық мәндердің жергілікті тербелістеріне әкеледі. Сонымен, саусақтардың немесе саусақтардың ұштарындағы температураның төмендеуі көбінесе дененің стресстік реакциясының белгісі ретінде қызмет етеді [11]. Осылайша, температура сенсорларын басқа физиологиялық параметрлермен біріктіру стресс деңгейін жан-жақты бағалауды қамтамасыз етеді.

### Зерттеу нәтижелері

Бұл бөлімде стресс деңгейін бақылауға бағытталған IoT шешімдері қарастырылады. Талданған жұмыстарда әртүрлі сенсорлар, микроконтроллерлер, сымсыз хаттамалар және машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды. Егер бұрын мұндай жүйелер негізінен тозуға болатын гаджеттер болса, қазір олар күнделікті заттарға, мысалы, компьютерлік тышқандарға немесе телемедицина жүйелеріне енуде. Мұндай технологиялардың негізгі міндеті-

физиологиялық деректерді үздіксіз жинау, оларды кейіннен өңдеу және адамның психоэмоционалды жағдайын бағалау.

Жұмыста нақты уақыт режимінде фотоплетизмография (PPG) және тері-гальваникалық реакция (GSR) сигналдарын үздіксіз тіркеуге арналған сақиналы мультисенсорлық құрылғы сипатталған (суретті қараңыз. 2, а) [12]. Дизайн екі түрлі сенсорды бір зондқа біріктіреді, бұл саусаққа киюге ыңғайлы. Бұл шешім жүрек соғу жиілігі, жүрек ритмінің өзгергіштігі, қанның оттегімен қанығу деңгейі және терінің гальваникалық реакциясы сияқты физиологиялық параметрлерді бақылауға мүмкіндік береді. PPG сигналын қалыптастыру үшін MAX30102 арнайы чипі қолданылды. Бұл тәсілдің басты артықшылығы-мобильділігі төмен гаджеттің физиологиялық көрсеткіштерді бекіту қабілеті. Дегенмен, физикалық белсенділік кезінде пайда болатын шуды автоматты түрде анықтау және сүзу алгоритмдерінің дұрыс жұмыс істеуі алынған ақпараттың дұрыстығын нашарлатуы мүмкін. Қосымша шектеу электрокардиографтар сияқты дәлірек құралдардың деректерімен фотоплетизмографиялық сигналдардың тамаша уақытша синхрондалуын қамтамасыз етудің күрделілігі болып саналады.

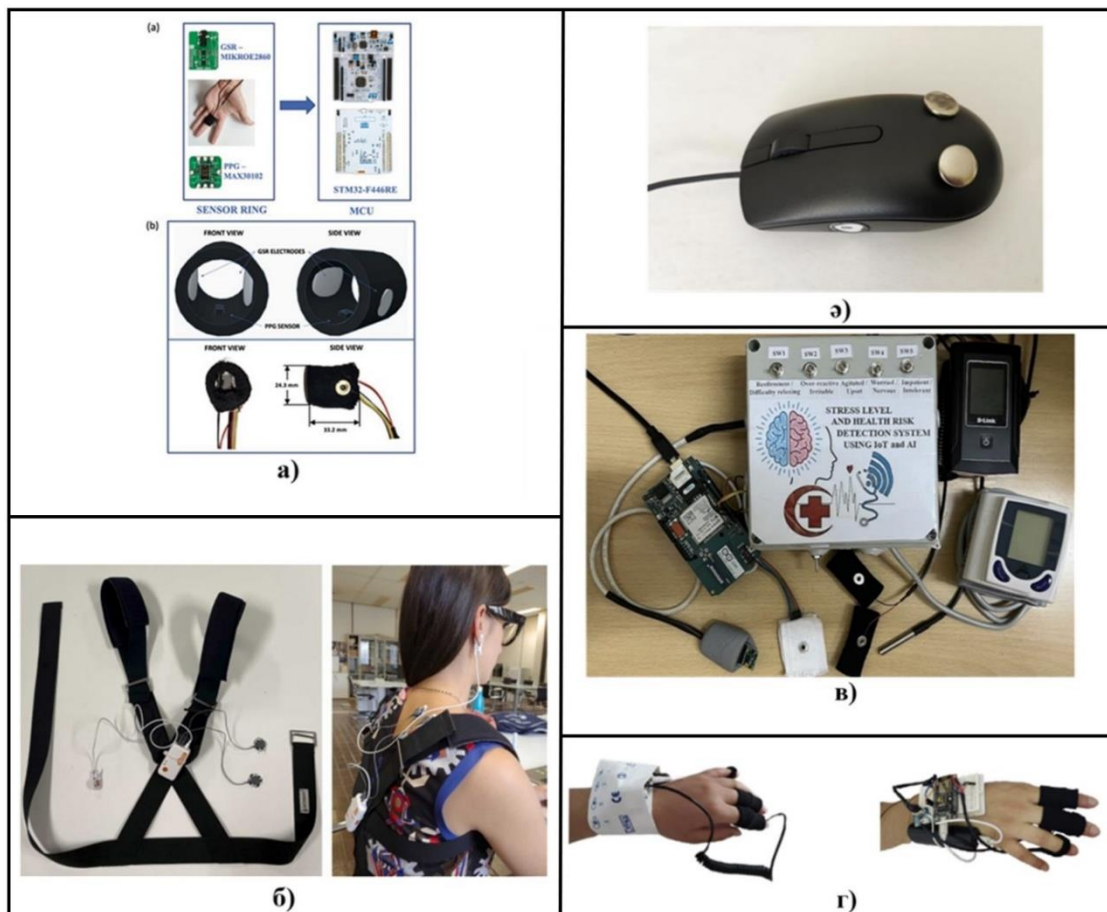
Дереккөзде биометриялық сенсорларды біріктіретін интеллектуалды компьютерлік тышқан бар (суретті қараңыз. 2, б) [13]. Бұл аппараттық кешен кеңсе қызметкерлерінің күнделікті қызметі барысында стресс деңгейін бақылауға арналған. Жүйенің жұмыс істеуі бас бармақтың көрсеткіштерін бекітетін PPG фотоплетизмографиялық сенсоры және алақанның құрылғының бетімен жанасуы арқылы тері-гальваникалық реакцияны өлшейтін GSR гальванометриялық электродтары арқылы қамтамасыз етіледі. Микроконтроллер жиналған биосигналдарды өңдеуді, содан кейін оларды Wi-Fi арқылы беруді жүзеге асырады. Бұл әдістің басты ерекшелігі-мамандандырылған медициналық жабдықты қажет етпестен күнделікті өмірде қолданылатын стандартты бағдарламалық жасақтама арқылы стресс деңгейіне мониторинг жүргізу. Дегенмен, тінтуірмен жұмыс істеу кезінде қолды жылжыту PPG көрсеткіштерінің тұрақтылығына теріс әсер етуі мүмкін. Сонымен қатар, датчиктерді белгілі бір учаскеде тұрақты орналастыру алынған ақпараттың көлемі мен толықтығын шектейді.

Кеелесі дереккөзде киілетін гаджеттен және қоршаған ортадан ақпаратты біріктіретін стресстік жағдайды анықтау жүйесі сипатталған (суретті қараңыз. 2, б) [14]. Платформаның өнімділігі жүрек соғу жиілігі, тері-гальваникалық реакция және камераның түрлі-түсті кескіндері туралы деректерді өңдеуге негізделген. Аппараттық құралға бірқатар сенсорлар кіреді: акселерометр, гироскоп, фотоплетизмограф (PPG) және GSR сенсоры. Мұндай мультисенсорлық архитектура қозғалтқыш белсенділігін, физиологиялық параметрлерді және пайдаланушы күйінің визуалды маркерлерін жан-жақты талдауға мүмкіндік береді. Дегенмен, құрылғыға қозғалыс кедергілері әсер етеді және Bluetooth арнасы арқылы ақпарат алмасу кезінде энергия шығындары артады. Сонымен қатар, тері-гальваникалық реакцияны бекітетін сенсорды иыққа орналастыру кейде алынған көрсеткіштердің сапасының төмендеуіне әкеледі.

Дереккөзде [15] интернет заттары (IoT), GSM және жасанды интеллект технологиялары негізінде жұмыс істейтін стресс деңгейін бақылау жүйесі ұсынылған (суретті қараңыз. 2, в). Шешімнің аппараттық бөлігі Particle Photon микроконтроллеріне негізделген және дене температурасы, қан қысымы, жүрек соғу жиілігі, тері тосқауылының күйі, қанның оттегімен қанығу деңгейі, тыныс алу қозғалысының жиілігі бойынша бірқатар физиологиялық көрсеткіштер бойынша мәліметтер жинауды қамтамасыз етеді, сонымен қатар мінез-құлық маркерлерін бекітеді. Бұл жүйенің басты артықшылығы-физиологиялық және эмоционалды көріністерді бір уақытта есепке алу мүмкіндігі. Дегенмен, бет-әлпетті тану, көп класты жіктеу және қосымша сенсорларды біріктіру саласындағы ағымдағы мүмкіндіктер стресстік жағдайларға терең талдау жасау үшін жеткіліксіз болып қала береді.

Жұмыста пациенттердегі стресс деңгейін қашықтықтан бақылауға арналған IoT жүйесі сипатталған (суретті қараңыз. 2, г) [16]. Аппараттық құралға GSR және MAX30100 сенсорлары, сондай-ақ ESP8266 модулі кіреді. Стресс күйін жіктеу үшін алынған деректерді өңдейтін тірек векторларының алгоритмі (SVM) қолданылады. Мұндай тәсіл дәрігерлерге

пациенттердің денсаулығын қашықтан бақылауға мүмкіндік береді. Дегенмен, қазіргі жүйе стресстің болуын тек екілік форматта тіркей алады: ол бар немесе жоқ. Алайда, практикалық қолдану үшін кернеудің төмен, орташа, айқын немесе өткір деңгейлерін бөліп көрсету арқылы жағдайдың қарқындылығын ажырату өте маңызды. Осыған байланысты мұндай шешімдерді дамытудың перспективалық бағыты жіктеудің көп деңгейлі модельдерін енгізу болып табылады.



Сурет 2. Стрессті бағалау үшін құрастырылған құрылғылар

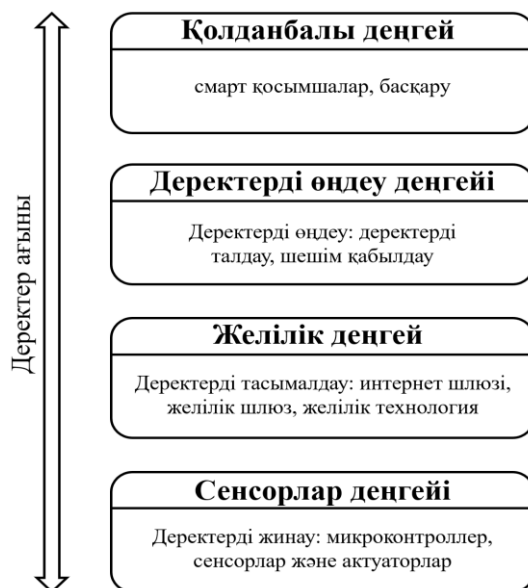
Талданған жұмыстарға сүйене отырып, стресс деңгейін бақылау үшін IoT жүйесінің жалпы құрылымын көп деңгейлі модель ретінде ұсынған жөн (суретті қараңыз. 3). Негізгі элемент - сенсорлық қабат. Бұл деңгейде импульсті, тыныс алу мағынаны, термометрияны, тері-гальваникалық реакцияны, қанның оттегімен қанықтылық деңгейін және басқа физиологиялық параметрлерді бекітетін сенсорлар орнатылған. Бұл құрылғылар дененің биосигналдарын қабылдайды және бастапқы ақпаратты жасайды.

Желілік деңгей немесе екінші деңгей сенсорлардан өңдеу құрылғыларына, серверлерге немесе бұлттық платформаларға деректерді тасымалдауға жауап береді. Ол үшін Wi-Fi, Bluetooth, GSM және басқалары сияқты әртүрлі сымсыз байланыс технологияларын қолдануға болады. Стрессті бақылау жүйесінің тұрақтылығы желілік деңгейдің сенімділігіне тікелей байланысты, өйткені деректер пакеттерінің кешігуі немесе жоғалуы нақты уақыттағы процестерді бақылау сапасын айтарлықтай төмендетеді.

Үшінші кезең ақпаратты аналитикалық өңдеуді қамтиды. Мұнда датчиктерден шыққан шикі сигналдар кедергілер мен бұрмаланулардан алдын-ала тазартылып, әрі қарай зерттеуге дайындалады. Физиологиялық параметрлерді түсіндіру және ағзаның қазіргі жағдайын анықтау үшін статистикалық тәсілдер, машиналық оқыту алгоритмдері немесе деректерді

өндіру әдістері қолданылады. Бұл кезеңде жүйе стресс маркерлерін анықтауға және оларды тиісті қарқындылық санаттарына бөлуге қабілетті.

Төртінші кезең — қолданбалы — алынған деректерді пайдаланушыға немесе медицина қызметкеріне қол жетімді түрде ұсынуға бағытталған. Стресс дәрежесі, физиологиялық параметрлердің өзгеруі және тиісті кеңестер туралы ақпарат мобильді қосымшалар, веб-интерфейстер немесе дәрігерлерге арналған арнайы басқару тақталары арқылы таратылады. Жүйе тыныс алу жаттығуларын орындау, іс-әрекетті кідірту, жүктемені азайту немесе маманмен кеңесу сияқты ұсыныстармен хабарлама жібере алады. Демек, заттар интернетінің архитектурасы ақпарат жинауды ғана емес, сонымен қатар оны негізделген шешімдер қабылдау үшін практикалық қолдануды қамтамасыз етеді.



Сурет 3. Заттар интернеті негізінде стрессті бақылау жүйесінің архитектурасы

### Дискуссия

Бұл материал интернет заттарының технологияларына және стресс деңгейін бақылау үшін қолданылатын физиологиялық көрсеткіштерге аналитикалық шолуды қамтиды. Зерттеу импульс, жүрек соғу жиілігінің өзгергіштігі, тері-гальваникалық реакция, температура көрсеткіштері, тыныс алу қозғалысының жиілігі және қанның оттегімен қанығу деңгейі сияқты көрсеткіштердің негізгі мәнін анықтады. Бұл параметрлер стресс факторларының әсерінен организмде болатын физиологиялық өзгерістерді тиімді бекітуді қамтамасыз етеді.

Жүргізілген талдау Заттар интернеті (IoT) технологиялары стресс деңгейін жедел бақылаудың тиімді құралы ретінде әрекет ететіндігін растайды. Киілетін электроника, ақылды сенсорлар және қашықтықтан бақылау платформалары физиологиялық көрсеткіштерді үздіксіз жазып, түсіндіре отырып, нақты уақыт режимінде адамның әл-ауқаты туралы мәліметтер жасай алады. Мұндай шешімдердің Денсаулық сақтау, оқу орындары, өнеркәсіп және кеңсе кеңістігін қоса алғанда, әртүрлі салаларда қолдану әлеуеті жоғары.

### Қорытынды

Қолданыстағы тәсілдердің бірқатар маңызды кемшіліктері бар, олардың ішінде қозғалыс кезінде пайда болатын артефактілерге сезімталдықты, датчиктердің нақты орналасуына қатаң байланысты, энергияны тұтынудың жоғары талаптарын, ақпаратты синхрондау қиындықтарын және стрессті тек екілік шкала бойынша бағалау мүмкіндігін атап өту керек. Бұл факторлар мұндай жүйелерді нақты тәжірибеге енгізуді едәуір қиындатады. Осыған байланысты перспективалы ғылыми әзірлемелер бірнеше негізгі бағыттарға бағытталуы керек: әртүрлі Сенсорлардан алынған деректерді біріктіру, алдын ала өңдеу сатысында

сигналдарды сапалы сүзу, машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану, сондай-ақ стресс деңгейін неғұрлым егжей-тегжейлі жіктеу үшін көп класты модельдерді әзірлеу.

Жалпы, стрессті бақылауға арналған IoT шешімдері адамның психофизиологиялық мәртебесін ерте диагностикалау, алдын алу шараларын жүзеге асыру және денсаулықты сақтау бойынша жеке бағдарламалар құру үшін кең перспективалар ашады. Осы саладағы зерттеулерді тереңдету цифрлық денсаулық сақтау жүйесі шеңберінде профилактикалық және жекелендірілген қызметтер спектрін кеңейтуге ықпал етеді.

## АЛҒЫС

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің No. AP23488439 «Қазақстандағы студенттердің стресс мониторингі үшін IoT базасында киілетін құрылғыларды әзірлеу және енгізу» (2024-2026) жобасымен қаржыландырылды.

### Пайдаланған дереккөздердің тізімі

- [1] Shahsavarani, A.M., Abadi, E.A., & Kalkhoran, M.H. *Stress: Facts and Theories through Literature Review // International Journal of Medical Reviews*. – 2015. – Vol. 2, № 2. – P. 230–237.
- [2] Panicker, S. S. & Gayathri, P. (2019). *A survey of machine learning techniques in physiology based mental stress detection systems. Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(2):444–469. doi: 10.1016/j.bbe.2019.01.004
- [3] Sun, W., Guo, Z., Yang, Z., Wu, Y., Lan, W., Liao, Y., Wu, X., Liu, Y. *A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors // Sensors (Basel)*. – 2022. – Vol. 22, № 20. – Art. 7784. – DOI 10.3390/s22207784.
- [4] Can, Y. S., Chalabianloo, N., Ekiz, D., Ersoy, C. *Continuous Stress Detection Using Wearable Sensors in Real Life: Algorithmic Programming Contest Case Study // Sensors (Basel)*. – 2019. – Vol. 19, № 8. – Art. 1849. – DOI 10.3390/s19081849.
- [5] Ahn, J. W., Ku, Y., Kim, H. C. *A Novel Wearable EEG and ECG Recording System for Stress Assessment // Sensors (Basel)*. – 2019. – Vol. 19, № 9. – Art. 1991. – DOI 10.3390/s19091991.
- [6] Pourmohammadi, S., Maleki, A. *Stress detection using ECG and EMG signals: A comprehensive study // Computer methods and programs in biomedicine*. – 2020. – Vol. 193. – Art. 105482. – DOI 10.1016/j.cmpb.2020.105482.
- [7] Sharma, N., Gedeon, T. *Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: a survey // Computer methods and programs in biomedicine*. – 2012. – Vol. 108, № 3. – P. 1287–1301. – DOI 10.1016/j.cmpb.2012.07.003.
- [8] Lin, C.-C., Chang, H.-Y., Huang, Y.-H., Yeh, C.-Y. *A Novel Wavelet-Based Algorithm for Detection of QRS Complex // Applied Sciences*. – 2019. – Vol. 9, № 10. – Art. 2142. – DOI 10.3390/app9102142.
- [9] Namvari, M., Lipoth, J., Knight, S., Jamali, A. A., Hedayati, M., Spiteri, R. J., Syed-Abdul, S. *Photoplethysmography Enabled Wearable Devices and Stress Detection: A Scoping Review // Journal of personalized medicine*. – 2022. – Vol. 12, № 11. – Art. 1792. – DOI 10.3390/jpm12111792.
- [10] Rahma, O. N., Putra, A. P., Rahmatillah, A., Putri, Y. S. K. A., Fajriaty, N. D., Ain, K., Chai, R. *Electrodermal Activity for Measuring Cognitive and Emotional Stress Level // Journal of medical signals and sensors*. – 2022. – Vol. 12, № 2. – P. 155–162. – DOI 10.4103/jmss.JMSS\_78\_20.
- [11] Marazziti, D., Di Muro, A., Castrogiovanni, P. *Psychological stress and body temperature changes in humans // Physiology & behavior*. – 1992. – Vol. 52, № 2. P. 393–395. DOI 10.1016/0031-9384(92)90290-i.
- [12] Valenti, S., Volpes, G., Parisi, A., Peri, D., Lee, J., Faes, L., Busacca, A., Pernice, R. *Wearable Multisensor Ring-Shaped Probe for Assessing Stress and Blood Oxygenation: Design and Preliminary Measurements // Biosensors*. – 2023. – Vol. 13, № 4. – Art. 460. – DOI 10.3390/bios13040460.
- [13] Androutsou, T., Angelopoulos, S., Kouris, I., Hristoforou, E., Koutsouris, D. *A smart computer mouse with biometric sensors for unobtrusive office work-related stress monitoring // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. – 2021. – P. 7256–7259. – DOI 10.1109/EMBC46164.2021.9630602.
- [14] Rescio, G., Manni, A., Caroppo, A., Ciccarelli, M., Papetti, A., Leone, A. *Ambient and wearable system for workers' stress evaluation // Computers in Industry*. – 2023. – Vol. 148. – Art. 103905. – DOI 10.1016/j.compind.2023.103905.

[15] Nagayo, A. M., Guduri, N. R. K., Al Buradai, F., Al Ajmi, M. Z. Monitoring stress levels and associated clinical health risks utilizing IoT and AI technologies to promote mental health awareness in educational institutions // *Multidisciplinary Science Journal*. – 2024. – Vol. 6. – Art. 2024ss0327. – DOI 10.31893/multiscience.2024ss0327.

[16] Hadhri, S., Hadiji, M., Labidi, W. An intelligent stress detection and monitoring system using the IoT environment // *2022 International Conference on Technology Innovations for Healthcare (ICTIH)*. – 2022. – P. 20–25. – DOI 10.1109/ICTIH57289.2022.10112103.

#### References

[1] Shahsavarani A.M., Abadi E.A., Kalkhoran M.H. (2015) Stress: Facts and Theories through Literature Review. *International Journal of Medical Reviews*, 2(2), 230–237.

[2] Panicker S.S., Gayathri P. (2019) A survey of machine learning techniques in physiology based mental stress detection systems. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(2), 444–469. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2019.01.004>

[3] Sun W., Guo Z., Yang Z., Wu Y., Lan W., Liao Y., Wu X., Liu Y. (2022) A Review of Recent Advances in Vital Signals Monitoring of Sports and Health via Flexible Wearable Sensors. *Sensors*, 22(20), 7784. <https://doi.org/10.3390/s22207784>

[4] Can Y.S., Chalabianloo N., Ekiz D., Ersoy C. (2019) Continuous Stress Detection Using Wearable Sensors in Real Life: Algorithmic Programming Contest Case Study. *Sensors*, 19(8), 1849. <https://doi.org/10.3390/s19081849>

[5] Ahn J.W., Ku Y., Kim H.C. (2019) A Novel Wearable EEG and ECG Recording System for Stress Assessment. *Sensors*, 19(9), 1991. <https://doi.org/10.3390/s19091991>

[6] Pourmohammadi S., Maleki A. (2020) Stress detection using ECG and EMG signals: A comprehensive study. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 193, 105482. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105482>

[7] Sharma N., Gedeon T. (2012) Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: a survey. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108(3), 1287–1301. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2012.07.003>

[8] Lin C.-C., Chang H.-Y., Huang Y.-H., Yeh C.-Y. (2019) A Novel Wavelet-Based Algorithm for Detection of QRS Complex. *Applied Sciences*, 9(10), 2142. <https://doi.org/10.3390/app9102142>

[9] Namvari M., Lipoth J., Knight S., Jamali A.A., Hedayati M., Spiteri R.J., Syed-Abdul S. (2022) Photoplethysmography Enabled Wearable Devices and Stress Detection: A Scoping Review. *Journal of Personalized Medicine*, 12(11), 1792. <https://doi.org/10.3390/jpm12111792>

[10] Rahma O.N., Putra A.P., Rahmatillah A., Putri Y.S.K.A., Fajriaty N.D., Ain K., Chai R. (2022) Electrodermal Activity for Measuring Cognitive and Emotional Stress Level. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 12(2), 155–162. [https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS\\_78\\_20](https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS_78_20)

[11] Marazziti D., Di Muro A., Castrogiovanni P. (1992) Psychological stress and body temperature changes in humans. *Physiology & Behavior*, 52(2), 393–395. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(92\)90290-i](https://doi.org/10.1016/0031-9384(92)90290-i)

[12] Valenti S., Volpes G., Parisi A., Peri D., Lee J., Faes L., Busacca A., Pernice R. (2023) Wearable Multisensor Ring-Shaped Probe for Assessing Stress and Blood Oxygenation: Design and Preliminary Measurements. *Biosensors*, 13(4), 460. <https://doi.org/10.3390/biosensors13040460>

[13] Androutsou T., Angelopoulos S., Kouris I., Hristoforou E., Koutsouris D. (2021) A smart computer mouse with biometric sensors for unobtrusive office work-related stress monitoring. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 7256–7259. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630602>

[14] Rescio G., Manni A., Caroppo A., Ciccarelli M., Papetti A., Leone A. (2023) Ambient and wearable system for workers' stress evaluation. *Computers in Industry*, 148, 103905. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103905>

[15] Nagayo A.M., Guduri N.R.K., Al Buradai F., Al Ajmi M.Z. (2024) Monitoring stress levels and associated clinical health risks utilizing IoT and AI technologies to promote mental health awareness in educational institutions. *Multidisciplinary Science Journal*, 6, 2024ss0327. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024ss0327>

[16] Hadhri S., Hadiji M., Labidi W. (2022) An intelligent stress detection and monitoring system using the IoT environment. *2022 International Conference on Technology Innovations for Healthcare (ICTIH)*, 20–25. <https://doi.org/10.1109/ICTIH57289.2022.10112103>