

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ЯК ПРИКЛАДУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРАЦІ ТА СТАН ПРАЦІВНИКІВ

Капустник В.А., Стукалкіна Д.С., Завгородній І.В.

Харківський національний медичний університет м. Харків, Україна

Анотація. Доповнена реальність (AR-augmented reality) - одне з найбільш інтерактивних та різнобічних нововведень цього століття. Зрозуміло, що всі переваги системи AR стають видимими лише тоді, коли вона є оптимально адаптованою до робочого процесу і фізіологічних аспектів людини. В цій статті проведено поточний систематичний огляд результатів досліджень з AR теми німецьких та англійських публікацій за останні 15 років за допомогою баз даних PubMed, Scopus, Web of Science, PSYNDEX та Medline з метою аналізу впливу AR на ефективність праці та стан працівників. З урахуванням різниці в показниках ефективності використання технологій необхідно провести подальші дослідження, які нададуть інформацію про те, скільки досвіду потрібно майбутнім користувачам для успішного використання технології AR.

Ключові слова: *віртуальна реальність, AR, варіабельність серцевого ритму, EEG.*

Вступ. Нові технологічні розробки у світі впливають на безпеку праці, але стають невід'ємною частиною всіх аспектів життя та сфер діяльності, зокрема медичної галузі. Аспекти безпеки цифрових систем допомоги слід розглядати в контексті змінених умов праці. Це означає, що при проведенні оцінки ризику ці нові та/або змінені навантаження повинні бути враховані у якості доповнення до звичайних фізичних та психологічних навантажень на робочих місцях у розумінні цілісного підходу. Метою результатів таких заходів є уникнення негативного впливу цифровізації на здоров'я. Однак здається, що у світі Індустрії 4.0 ставити майбутніх користувачів в центр дослідницького процесу і процесу розвитку цифрових систем допомоги, не є очевидним для розробників. Хоча, як яскравіший приклад, технології доповненої реальності (AR - augmented reality) існують вже більше 30 років і надалі вдосконалюються, лише деякі публікації в галузі AR показують експерименти, орієнтовані на користувачів [1]. Важливою областю застосування AR є медицина, що викликає інтерес у дослідників. Так можна планувати операції, розміщуючи віртуальні області резекції над реальними зображеннями пацієнта. AR також може показувати положення ендоскопа по відношенню до тіла пацієнта під час інвазивних втручань [2]. Саме через важливість точності лікарських маніпуляцій, першочергового комфорту для медичних робітників, дослідження, в яких враховуються фактори сприйняття користувача, зручності для нього та його власного досвіду, а також стрес і напруження, абсолютно необхідні для того, щоб гарантувати стійку безпеку для здоров'я та зручне використання цифрових технологій допомоги до яких і відноситься AR. Потрібно пам'ятати, що ми взаємодіємо з людьми, а не з машинами.

Взаємодіючи на веб-сайтах, люди демонструють, що вони не роботи, наприклад, через CAPTCHA, щоб мати можливість продовжувати взаємодію. Це підкреслює той факт, що відносини людина-машина все більше і більше позиціонують в активній ролі саме машину. Тож, замість розгляду взаємодій людини-машини, слід зосередити увагу на людині. Так, була проведена обширна робота з вивчення переваг та можливостей застосування AR в хірургії та травматології, але, тим не менш, людський фактор і вплив технології на здоров'я не були вивчені як можливі обмеження використання [3]. Тому більш детальний погляд на можливі побічні ефекти є важливим для отримання цілісної картини плюсів і мінусів використання новітніх цифрових технологій в медицині.

Мета дослідження. Визначити, чи дійсно доповнена реальність як приклад цифровізації може привілювати над звичайними методами роботи і яким чином застосування цієї технології впливає на здоров'я користувача.

Матеріали та методи дослідження. Було проведено поточний систематичний огляд результатів досліджень німецьких та англійських публікацій з 2005 по 2019 роки за допомогою баз даних PubMed, Scopus, Web of Science, PSYINDEX та Medline.

Результати та обговорення. Доповнена реальність - одне з найбільш інтерактивних та різнобічних нововведень цього століття. Вона посилює фізичне та сенсорне сприйняття реального світу, інтегруючи його у віртуальні дані. Реалізація AR може здійснюватися навіть за допомогою мобільних пристроїв, серед яких такий додаток набуває популярності на ринку. Потенціал технології AR вже був досліджений в різних масштабних науково-дослідницьких проектах [4]. Істотними перевагами доповненої реальності є те, що у працівника вільні руки під час виконання своєї роботи, а інформація щодо візуальної "допомоги" доступна у будь-який час в полі його зору незалежно від положення тіла. Однак потрібно розуміти, що існують як переваги, так і недоліки, які можуть бути проілюстровані на прикладі системи, що набуває все більшої популярності - Pick-By-Vision. Вона була розроблена з метою допомоги працівнику знайти відповідний товар. Система у дослідженні виглядала як резинка для голови із однією лінзою-дисплеєм: такі собі розумні окуляри - постійна навігаційна допомога у вигляді лійки, яка концентрує увагу користувачів і направляє їх до потрібних об'єктів. Такий пристрій відносять до категорії HMD - head mounted display (наголівний дисплей). Взагалі, потенціал доповненої реальності у вигляді таких дисплеїв продемонстровано в кількох дослідженнях, але за результатами [5] не відбулося суттєвих відмінностей між кінцевим результатом роботи з AR та без неї. Можливо, тут відіграв роль той факт, що учасники користувалися технологією доповненої реальності вперше. Водночас Беккельманн у своєму дослідженні показала, що помилки AR можна зменшити дуже сильно і, можливо, з більш досконалою системою повністю усунути їх [6].

Так, у подальшому дослідженні Груберт показав, що у порівнянні з попередніми дослідженнями коефіцієнти помилок були значно нижчими і робота із системою AR набирала вищі показники ефективности, ніж без неї. Це було пов'язано кращим налаштуванням лійки уваги та зменшеній затримці роботи системи [7]. У статті Баде були представлені результати проекту, в рамках якого були розглянуті додаткові питання щодо використання доповненої реальності на основі фотосистеми для порівняння бажаних проектних даних із фактичними (target/actual-comparison англ.). Основними цілями були - аналіз потенціалу технології AR, а також дослідження залежностей збору даних від досвіду користувачів. В результаті виявилось, що технологія була придатна для розпізнавання всіх типів досліджуваних геометричних відхилень, але існують значні відмінності за ступенем їх розпізнавання. Припущення про те, що люди, знайомі з системою AR, мають перевагу було підтверджено і в цій роботі. Так встановлено, що існуючою системою AR можна керувати інтуїтивно, але більш досвідчені користувачі показали кращі результати [8].

Хоча й по сьогоднішній день вплив AR на психо фізіологічні аспекти не досліджується широко, важливим результатом цього дослідження було те, що анкети EZ-шкали (Eigenzustands-Skala - шкала особистого стану) та дискомфорту не мали значних відмінностей від звичайного використання паперового списку з ціллю знайти потрібний товар після 2 години використання. В той же час, результати анкетування дискомфорту вказують на те, що робота з HMD може призводити до головного болю: або корпус дисплея було встановлено занадто щільно, або ж зміни між віртуальною площиною зображення та дійсним оточенням є головною причиною цієї проблеми. Впливає висновок, що якість використовуваних пристроїв відіграє вирішальну роль у сприйнятті систем AR. Після вдосконалення системи команда Груберта провела повторне дослідження, проте учасники поскаржилися на дискомфорт у очах. Слід зазначити, що використання лійки уваги викликало питання про відповідний рівень безпеки даної системи, так як потенційно вона може призвести до сліпоты [9]. Офтальмологічна перевірка виявила, що користувачі при порушеннях зору частіше відчувають візуальний дискомфорт, ніж користувачі без таких проблем. Тим не менш, система AR повинна бути використана широким колом користувачів і слід проводити офтальмологічні дослідження для визначення користувачів, які можуть відчути дискомфорт під час використання системи доповненої реальності. Слід також зазначити, що учасниками експерименту були переважно студенти, а не професіонали. Тому команда продовжує випробування з експертами в галузях.

У статті Ірини Беккельманн були представлені перші результати одного з найбільших дослідницьких проектів міждисциплінарної команди ергономіки, психологів, інженерів та комп'ютерних науковців для дослідження проблем, які можуть виникнути у користувача, під час тривалого застосування доповненої реальності. У якості AR також використовували різні

наголівні дисплеї і знову учасники обирали потрібні об'єкти. Анкети, які використовувались для отримання даних про суб'єктивну напругу користувачів до та після тестів: анкета дискомфорту, анкета чутливості та EZ-шкала. Загалом робота з AR не викликала вище суб'єктивне напруження чи негативну зміну мотивації порівняно з роботою із простим списком паперу. Результати анкетування підтвердили гіпотезу, що загальна суб'єктивна напруга після двох годин безперервної роботи вища, ніж перед роботою для всіх суб'єктів. Ці результати також показують, що безперервне двогодинне застосування саме системи AR не призводить до більш високої напруги для користувача. Відгуки суб'єктів щодо ідеї використання AR у майбутньому були дуже позитивними [6].

Оскільки світ праці зазнає швидких змін, на перший план виходять психологічні навантаження над фізичними. Перш за все, цьому сприяє зростаюча механізація робочого місця з огляду на бажане підвищення продуктивності праці. Відповідно, для оцінки цих навантажень необхідні вимірювання напруги. Поки що незрозуміло, який вплив має тривале використання системи доповненої реальності на стан користувача. Однак стало зрозуміло, що потрібно збільшити час випробувань.

Для статистичної перевірки визначених результатів плануються подальші експерименти з аналогічних питань зі значно удосконаленою системою AR та тести з різним використанням (після короткострокового та тривалого використання) мобільних систем. Окрім подальших досліджень стресу при використанні покращених моделей наголівних дисплеїв, важливе місце посідають перцептивні психологічні аспекти та об'єктивні симптоми стресу, визначені за допомогою параметрів варіабельності серцевого ритму і активності мозку, що і було зроблено іншими групами науковців.

Як і навантаження розширеною реальністю разом з іншими технічними приладами, так і сучасна робота характеризується збільшенням пізнавального навантаження, багатозадачністю і тиском "часу". Ці фактори вимагають залучення багатьох функцій мозку, особливо робочої пам'яті (РП, WM - working memory), системи, що забезпечує тимчасове зберігання та обробку інформації, необхідної на даний момент. Для оцінки роботи мозку дослідники часто використовують електроенцефалографію (ЕЕГ), що являється широко визнаним і дійсним методом оцінки когнітивного навантаження. Наскільки нам відомо, дослідження Шапкіна було першим дослідженням присвяченому ЕЕГ корелятам когнітивного навантаження, що має велике практичне значення для сучасних умов праці, що вимагає постійної комутації, як і при використанні AR. Їхні отримані результати свідчать про те, що зміни альфа-і тета-хвиль можуть розглядатися як найбільш чутливі показники когнітивного навантаження. Скорочення альфа може бути пов'язане з активацією широко розповсюджених кіркових областей, які були активізовані для виконання складних завдань. Збільшення бета-діапазону, особливо бета-2,

частково може бути пов'язане з активацією рухової кори через труднощі в підготовці та виконанні рухових реакцій. Збільшення тета-хвиль може розглядатися як показник полегшення обробки інформації в РП та вдосконалення виконавчого контролю вищого порядку, що в свою чергу полегшує рухові процеси. Продуктивність була нижчою при високому навантаженні, ніж при низькому навантаженні. Зниження продуктивності при більш високому РП навантаженні супроводжувалося збільшенням потужності ЕЕГ у дельта-, тета-, бета- хвилях та зменшенням альфа-діапазону [10]. Слід зазначити, що розширена реальність має вплив не тільки на активність мозку, але й на серцевий ритм. Оскільки застосування таких технологій вимагає значної концентрації та уваги до себе, доречним буде врахувати результати дослідження університету Отто фон Геріке в Магдебурзі [11]. Вони досліджували зміни варіабельності серцевого ритму (ВСР) як фізіологічну стресову реакцію організму з різними вимогами до уваги. Окрім об'єктивного параметра стресової напруги, було оцінено суб'єктивне напруження за допомогою шкали Борга та об'єктивні дані про ефективність, що було зафіксовано у 51 добровольців, які пройшли 4 різні тести на увагу (Тест на безперервну увагу, на спільну увагу, на визначення та інтерференційний), які можна порівняти з застосуванням різних AR виробів. Їхня гіпотеза про те, що когнітивний стрес у вигляді різних тестів на увагу призводить до збільшення частоти серцевих скорочень і зниження ВСР порівняно з фазою спокою або відновлення, може бути підтвердженою, оскільки майже у всіх параметрах ВСР спостерігаються значні відмінності між напругою під час фази відновлення та напругою під час когнітивної фази. Припущення стосовно залежності об'єктивного та суб'єктивного напруження від типу та ступеня когнітивної потреби в різних тестах на увагу, також було підтверджене. Шкала Борга показує значні відмінності в рівнях суб'єктивного стресу між когнітивними тестами. Тест безперервної уваги оцінюється як особливо напружений, а тест для спільної уваги - досить легкий для випробуваних.

В результаті це дослідження може бути використане для інших вимірювань напруги та навантаження. Воно показало, що увага збільшує обробку інформації, і це свідчить про збільшення реакції нейронів, а також про те, що між префронтальною корою та частотою серцевих скорочень існує тісний зв'язок [12]. Орбітофронтальна область префронтальної кори, наприклад, бере участь у регуляції серцево-судинних процесів, а пошкодження в орбітофронтальній частині призводять до симпатично опосередкованого ураження міокарда та аритмії.

Висновки та перспективи. Зрозуміло, що всі переваги системи AR стають видимими лише тоді, коли вона є оптимально адаптованою до робочого процесу і фізіологічних аспектів людини. Саме тому потрібно продовжити експериментальні дослідження, які будуть орієнтовані на користувачів. Так, для визначення впливу технологій на зоровий аналізатор і оптимальний час їх застосування потрібні додаткові психофізіологічні методи та підходи досліджень. Оптимізація

систем на прикладі HMD (покращити калібрування і продуктивність системи, апаратні компоненти, поліпшити взаємодію з реальністю, зменшити вагу пристрою) може зменшити напругу під час роботи з системою AR і навіть забезпечити додаткове полегшення для спеціаліста під час виконання своїх обов'язків. Крім цього важливу роль грають додаткові випробування з робочим часом в 6 або 8 годин, для того щоб перевірити, чи збільшується напруження під час повноцінного робочого дня з даною технологією. Необхідно провести подальші дослідження в цій галузі, які нададуть інформацію про те, скільки досвіду потрібно майбутнім користувачам для успішного використання технології AR.

У перспективі це дасть змогу створити системи доповненої реальності, орієнтовані саме на спеціалістів різних галузей, зокрема і медицини. Вони не тільки матимуть економічні переваги (ефективність та точність роботи, виконаної за допомогою технологій), але також можуть мати позитивний вплив на користувача з точки зору збереження здоров'я, підвищення продуктивності та охорони праці через фізіологічну оптимізацію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Swan J. E., Gabbard J. L. Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. Proceedings 1st International Conference in Virtual Reality 1–9. Las Vegas, Nevada, USA: 2005.
2. Sielhorst T., Feuerstein M., Navab N. Advanced medical displays: a literature review of augmented reality. *J Dis Technol*: 2008. 4:451–467.
3. van Krevelen D. W. F., Poelman R. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*. ENIB, France: 2010. 9(2):1-20. DOI: <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>.
4. Schreiber W., Zimmermann P. Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin, Germany: 2011.
5. Schwerdtfeger B., Reif R., Guenther W. A., Klinker G., Hamacher D., Schega L., B., I., Doil F., Tuemler J. Pick-by-vision: A first stress test / In G. Klinker, H. Saito, and T. Hollerer, editors. ISMAR, Orlando: 2009. 115–124. DOI: 10.1109/ISMAR.2009.5336484.
6. Böckelmann I., Chegrynets O., Mecke R., Darius S., Sánchez Márquez J.S. Aufmerksamkeitsleistung und objektive Beanspruchung beim Einsatz von zwei verschiedenen Head-mounted-Displays. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 65. Berlin: 2015. Nr.1, S.12-20. DOI:10.1007/s40664-014-0045-1 (<http://dx.doi.org/10.1007/s40664-014-0045-1>)
7. Grubert J., Hamacher D., Böckelmann I. Extended Investigations of User-Related Issues in Mobile Industrial AR. Conference, 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. ISMAR, Seoul, Korea: 2010. DOI: 10.1109/ISMAR.2010.5643581

8. Bade C., Zhang Z. Probandenversuche zum Augmented Reality basierten Soll. Ist-Vergleich von Konstruktionsdaten. Konferenzbeitrag. Paderborner Workshop: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. Mai Heinz Nixdorf MuseumsForum, Germany: 2009.
9. Wickens C., Alexander A. Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays. *International Journal of Aviation Psychology*, Philadelphia, PA: 2009. 19(2):182–199.
10. Schapkin S. A., Raggatz J., Hillmert M., Böckelmann I. EEG correlates of cognitive load in a multiple choice reaction task. *Acta Neurobiol Exp* 2020. Nencki, Poland : 2019. 80: 76–89. DOI: 10.21307/ane-2020-008.
11. Dorn A., Minow A., Darius S., Böckelmann I. Auswirkungen von Aufmerksamkeitstests unterschiedlicher kognitiver Anforderungen auf die Auslenkung der HRV-Parameter. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*. ISSN 0944-2502. Zbl Arbeitsmed. DOI 10.1007/s40664-019-00374-6)
12. Thayer J., Lane R. Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*: 2009. 33(2):81–88.

REFERENCES

1. Swan J. E., Gabbard J. L. (2005) Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. In: *Proceedings 1st International Conference in Virtual Reality 1–9*, Las Vegas, Nevada, USA
2. Sielhorst T., Feuerstein M., Navab N. (2008) Advanced medical displays: a literature review of augmented reality. *J Dis Technol* 4:451–467.
3. van Krevelen D. W. F. , Poelman R. (2010), A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2):1-20; ENIB, France, DOI: <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>.
4. Schreiber W., Zimmermann P. (2011), *Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
5. Schwerdtfeger B., Reif R., Guenther W. A., Klinker G., Hamacher D., Schega L., Böckelmann I., Doil F., Tuemler J. (2009), Pick-by-vision: A first stress test. In G. Klinker, H. Saito, and T. Hollerer, editors, *ISMAR*, pages 115–124. IEEE Computer Society, Orlando, FL , DOI: 10.1109/ISMAR.2009.5336484.
6. Böckelmann I., Chegrynets O., Mecke R., Darius S., Sánchez Márquez J.S. (2015), Aufmerksamkeitsleistung und objektive Beanspruchung beim Einsatz von zwei verschiedenen Head-mounted-Displays. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 65, Nr.1, S.12-20, Berlin, Germany, DOI:10.1007/s40664-014-0045-1
7. Grubert J., Hamacher D., Böckelmann I., Mecke R. (2010), Extended Investigations of User-Related Issues in Mobile Industrial AR.. DOI: 10.1109/ISMAR.2010.5643581, Conference: 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2010, Seoul, Korea.

8. Bade C., Zhang Z. (2009) Probandenversuche zum Augmented Reality basierten Soll/Ist-Vergleich von Konstruktionsdaten. Konferenzbeitrag. 8. Paderborner Workshop: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, Mai Heinz Nixdorf MuseumsForum, Germany
9. Wickens C., Alexander A. (2009) Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays. *International Journal of Aviation Psychology*, 19(2):182–199, Philadelphia, PA
10. Schapkin S. A., Raggatz J., Hillmert M., Böckelmann I. (2019), EEG correlates of cognitive load in a multiple choice reaction task, *Acta Neurobiol Exp* 2020, 80: 76–89, Nencki, Poland, DOI: 10.21307/ane-2020-008.
11. Dorn A., Minow A., Darius S., Böckelmann I. Auswirkungen von Aufmerksamkeitstests unterschiedlicher kognitiver Anforderungen auf die Auslenkung der HRV-Parameter. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*. ISSN 0944-2502. *Zbl Arbeitsmed*. DOI: 10.1007/s40664-019-00374-6
12. Thayer J., Lane R. (2009), Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev* 33(2):81–88

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ КАК ПРИМЕРА ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРУДА И СОСТОЯНИЕ РАБОТНИКОВ

Капустник В.А., Стукалкина Д.С., Завгородний И.В.

Аннотация. Дополненная реальность (AR-augmented reality) - одно из самых интерактивных и разносторонних нововведений этого века. Все преимущества системы AR становятся видимыми только при оптимальной адаптации ее к рабочему процессу и физиологическим аспектам человека. В этой статье проведен текущий систематический обзор результатов исследований по теме AR немецких и английских публикаций за последние 15 лет с помощью баз данных PubMed, Scopus, Web of Science, PSYNDEX и Medline с целью анализа влияния AR на эффективность труда и состояние работников. С учетом разницы в показателях эффективности использования технологий необходимо провести дальнейшие исследования, которые предоставят информацию о том, сколько опыта необходимо будущим пользователям для успешного использования технологии AR.

Ключевые слова: виртуальная реальность, AR, вариабельность сердечного ритма, ЭЭГ.

AR AS AN EXAMPLE OF DIGITALISATION AND ITS IMPACT ON THE EFFECTIVENESS OF WORK AND CONDITION OF THE USERS

Kapustnyk V., Stukalkina D., Zavgorodniy I.

Abstract: Augmented reality is one of the most interactive and versatile innovations of the century. It is clear that all the benefits of the AR system become visible only when it is optimally adapted to the work process and physiological aspects of humans. This article provides an ongoing systematic review

of AR research findings in German and English publications over the past 15 years using the PubMed, Scopus, Web of Science, PSYNDEX, and Medline databases to analyze the impact of AR on work performance and employee's condition. Taking into account the difference in technology usage performance, further research is needed to provide information on how much experience future users need to successfully use AR technology.

Key words: *virtual reality, AR, heart rate variability, EEG.*

Капустник Валерій ORCID 0000-0002-4543-8343

Стукалкіна Діана ORCID 0000-0002-8049-5925

Завгородній Ігор ORCID 0000-0001-7803-3505; +38(050) 343 31 87, zavnikua@gmail.com