



Шлемове за виртуална реалност – сравнение, анализ, възможности за употреба при симулация и обучение

Елица Бакалова, Емилиян Петков

Virtual Reality Headsets – Comparison, Analysis and Use in Training and Learning

Elitsa Bakalova, Emiliyan Petkov

Abstract: *Virtual Reality (VR) technologies have developed rapidly in recent years. We have seen tremendous progress in the development of both VR software and hardware. VR is increasingly used as a tool for training and learning in various areas of life. This paper presents the currently available types of VR devices and compares their technical properties, technologies and price. It analyses the capabilities of certain devices and offers possible ways of using VR headsets in education. The purpose of the study is to help choose the right VR headset in the processes of training and learning. These helmets are divided into three classes – low, medium and high – depending on their technical characteristics, the technologies they use, and their price. Cost can be an important factor in the need for mass training. The results determine the following devices as the best ones in each class: Samsung Gear VR (low class), Oculus Quest (middle class), VIVE Pro Eye and Varjo VR-2 Pro (high class). The latter is regarded as the most powerful VR headset. The paper also considers the latest technologies that have already been integrated in some VR headsets – eye tracking, hand tracking, tracking with Base Stations, object tracking and wireless connection. They may be absolutely necessary for the training and learning processes, or completely unnecessary which may reduce costs.*

Keywords: *virtual reality headset; comparison; analysis; training; learning; virtual reality.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Виртуалната реалност е технология, която с помощта на хардуер и софтуер пресъздава реални или измислени светове. Чрез компютърно генерирана, триизмерна интерактивна среда тя позволява на потребителя едновременно да наблюдава и да си взаимодейства активно и целенасочено със симулираната среда, така както си взаимодейства с физическата реалност. Виртуалната реалност е съвкупност от три тясно свързани елемента – потапяне, взаимодействие и въображение (I3 – Immersion, Interaction, Imagination). Потапянето е възприятие за физическо присъствие в нефизически свят. Всичко това позволява преживяванията, създадени във ВР, да бъдат много близки до преживяванията в реалността. Може да се каже, че ВР се превърна в безспорен лидер при осигуряването на опит в ситуации, близки до реалността, и че на този етап няма друга технология, която може да ѝ съперничи. Чрез ВР могат да се пресъздават множество ситуации, които се случват рядко – авария, пожар, катастрофа, турбулентност и др., за които може да се проведе подготовка на персонала. Може да се пресъздават сложни хирургични операции за подготовка на хирурзи и др. Това е една от основните причини, поради които ВР все по-често се използва за симулация в много сфери на живота – медицина, производство, спорт, пилотиране, астронавтика и др. ВР може да се използва като инструмент и за обучение в областта на образованието. Много често учениците запомнят по-бързо, по-лесно и по-трайно нещо преживяно в сравнение с нещо прочетено. Трябва да се има предвид, че ВР е сравнително нова технология в процесите на симулация и обучение и нейните възможности все още не са напълно усвоени. Придобиването на знания с

ВР е ново предизвикателство разработчиците на приложения и към хората, които са отговорни за създаването на висококвалифицирани кадри. Предполага се, че в бъдеще ВР ще се превърне в традиционно средство за симулация и обучение и ще се използва масово. В този доклад са разгледани съвременните шлемове за ВР, техните технически показатели, технологиите, които използват, и цената им, и според това са класифицирани в 3 класа – нисък, среден и висок. Направен е анализ на техните предимства и недостатъци и как това може да повлияе в процесите на симулация и обучение. Разглеждат се и всички най-нови технологии, които вече са интегрирани в шлемове за ВР – проследяване на очите (Eye Tracking), проследяване на ръцете (Hand Tracking), проследяване с Base Stations, проследяване на обекти (Object Tracking) и безжична връзка (Wireless Connection). Посочва се къде и как могат да се използват. Въз основа на резултатите от анализа се подпомага изборът на подходящи шлемове за ВР, така че всички нужди за симулация и обучение да са максимално удовлетворени на подходяща цена [2].

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Класификация

Съвременните шлемове за ВР се различават по множество показатели. Една основна разлика е тяхната зависимост от други устройства, според която могат да бъдат разделени на автономни и зависими от друго устройство.

Автономните шлемове за ВР работят самостоятелно, като целият необходим хардуер е интегриран в тях. В повечето случаи хардуерът им е подобен на телефон, като понякога дори се използва операционната система Android. Пример за това е моделът Oculus Quest, пуснат в употреба на 21 май 2019 г. Хардуерът на автономните шлемове за ВР обикновено съдържа дисплей, RAM, NAND flash memory for storage, SoC, в който са интегрирани CPU, GPU, modem, Bluetooth и др., няколко камери, които служат за проследяване на движението на тялото, и други важни за ВР сензори като жирокоп.

В зависимите от други устройства шлемове за ВР е интегрирано различно количество хардуер, което зависи от какво устройство са зависими – телефон, PlayStation или компютър. Техните възможности съответно се определят от хардуера на устройството, от което са зависими. В шлемовете за ВР, които са зависими от телефон, няма никакъв хардуер. Те са изградени от пластмасова кутия и леци. При тези модели всичко зависи от възможностите на телефона – размера и качеството на дисплея, мощността на CPU и графичната карта, размера на RAM. Телефонът задължително трябва да има жирокоп, който проследява движението на главата. Те не разполагат със средства за проследяване на движението на тялото и на ръцете. Потребителят може да се придвижва във VR средата само чрез геймпад, както е в повечето игри за компютър. Изключение прави само моделът Samsung Gear VR, в който има вграден жирокоп и възможности за проследяване на движението на тялото и на ръцете. В шлемовете за ВР, които са зависими от PlayStation, е интегриран малко хардуер – дисплей, акселерометър и жирокоп. Процесорът е изнесен в допълнителна кутия. Следователно шлемът се свързва с процесора, а той се свързва с PlayStation. Камерите за проследяване на движението на тялото също са изнесени от шлема. Те се свързват към процесора. Устройствата разполагат с удобството на мястото за съхранение на PlayStation в размер на 1TB, което дава възможност да се зареждат множество големи по обем приложения. В шлемовете за ВР, които са зависими от компютър, обикновено има дисплей, акселерометър, жирокоп и няколко камери за проследяване на движението на тялото. При тях всичко зависи от възможностите на компютъра, с който ще бъдат свързани – мощността на CPU и графичната карта, размера на RAM. Те имат няколко преимущества – компютърът подлежи на надстройка, което може да направи употребата по-комфортна, използват мястото за съхранение на компютъра, което е от 1 до няколко TB и дава възможност да се зареждат множество големи по обем приложения. Друг важен показател, който е отличителен белег на шлемовете за ВР, е тяхната свързаност. Автономните шлемове за ВР и тези, които са зависими от телефон, работят, без да са свързани с кабел към нещо друго. Това дава възможност за голяма свобода на движенията. Зависимите от PlayStation и компютър работят, като са свързани с кабел към устройството, от което са зависими. Това малко ограничава

свободата на движение и комфорта. Изключение правят моделите от марката VIVE, които са зависими от компютър, но могат да работят и в двата варианта – свързани с кабел към компютъра или чрез безжична връзка, осигурявана от безжичен адаптер и батерия, която ги захранва. Може да се каже, че това е съвършеният вариант, който може да задоволи всички нужди на потребителя. Още един важен показател на шлемовете за VR е дали са зависими от батерия, която може бързо да се изтощи, или не. Автономните и зависимите от телефон шлемове за VR са зависими от батерията, която използват. Това, разбира се, може да се преодолее, защото позволяват да се работи в режим на зареждане на батерията, но това естествено ще ограничи свободата на движение. Друг важен показател са аксесоарите, които се предлагат към съответните шлемове за VR. Безспорен лидер в това отношение е марката VIVE, която предлага допълнително – VIVE Tracker, VIVE Base Station, VIVE Racket Sport Set, Wireless Adapter and Power Bank. Друг важен показател е начинът за взаимодействие. Зависимите от мобилен телефон шлемове за VR използват един геймпад, а зависимите от PlayStation използват два контролера – един за лявата и един за дясната ръка. Автономните и зависимите от компютър също използват два контролера, като моделите Oculus Quest и Varjo VR-2 Pro предлагат възможност за интерактивност чрез ръцете, без използване на контролери, благодарение на технологията проследяване на ръцете (Hand Tracking). Още един важен показател за шлемовете за VR е мобилността. Автономните и зависимите от телефон шлемове за VR са лесно преносими, което ги прави удобни за употреба при пътуване. Ако свържете зависим от компютър шлем за VR с лаптоп, то той също ще бъде лесно преносим заедно с лаптопа. По-трудно е да се пренасят шлемове за VR, които са зависими от PlayStation или настолен компютър [2].

Важен показател за шлемовете за VR са и използваните технологии, които дават различни допълнителни възможности [2]. Някои от шлемовете предлагат следните технологии – проследяване на очите (Eye Tracking), проследяване на ръцете (Hand Tracking), проследяване с Base Stations, проследяване на обекти (Object Tracking) и безжична връзка (Wireless Connection), което дава нови възможности за процеса на симулация. Като последен, но не маловажен показател, ще посочим цената на шлемовете за VR. Тя варира от 10 € до 6000 €, но това може да не е целият разход, който трябва да се направи, ако шлемът за VR е зависим от друго устройство. Например към един шлем за VR, който струва 10 € и е зависим от телефон, може да се наложи да се добави и нов телефон, защото моделът, който потребителят притежава, няма жirosкоп. Ако се закупи Samsung Gear VR, може да се окаже, че телефонът Samsung, който потребителят притежава, не отговаря на изискванията. Причината е, че Samsung Gear VR работи само с определени модели на телефоните Samsung. Най-лесно е да се изчисли цената на автономните шлемове. Тя варира от 150 до 500 \$ и не е необходимо да се закупуват други устройства. Към цената на шлемовете за VR, зависими от PlayStation или компютър, съответно трябва да се прибави и цената на PlayStation (около 300 €) или цената на компютъра, която може да варира от 1000 до 2000 € в зависимост от минималните изисквания на съответния шлем и от това дали потребителят ще избере настолен компютър или лаптоп. Ако се разгледат настолен компютър и лаптоп, които имат сходни технически показатели, то лаптопът винаги е по-скъп. Въз основа на всички изброени показатели разделяме шлемовете за VR на 3 класа – нисък, среден и висок [2], което се свързва с техните технически показатели, използваните технологии и цената им. Към нисък клас се определят шлемове за VR, които са зависими от телефон. Към среден клас се определят автономните и зависимите от PlayStation шлемове за VR. Към висок клас се определят зависимите от компютър шлемове за VR. И трите класа биха могли да имат принос към процеса на симулация и обучение [2].

Направеното изследване показва, че шлемовете за VR, които са зависими от телефон и PlayStation, са удобни за употреба предимно в процеса на обучение. Автономните шлемове за VR, зависимите от компютър и Samsung Gear VR може да се използват в процеса на симулация и обучение, като всяко от посочените устройства може да понесе различно натоварване и може да удовлетвори определени изисквания [2]. В зависимост от целта на обучение да се избере подходящ шлем за VR, който има необходимите показатели за постигане на целта [2].

2. Анализ и сравнение

След като разделихме шлемовете за ВР в 3 отделни класа според техните технически показатели и цена, ще разгледаме по-задълбочено всеки клас поотделно. Ще сравним няколко представители от класа, които са специално избрани, защото според направеното изследване те се отличават от другите със своите показатели и са едни от най-използваните в своя клас. Също така ще предложим насоки за какъв вид обучение може да се използват съответните шлемове за ВР.

2.1. Шлемове за ВР от нисък клас

Към този клас определяме шлемовете за ВР, които са зависими от мобилни телефони. Досега са произведени десетки такива модели на различни фирми. Всички те обикновено представляват пластмасова кутия и лещи. Имат и мека възглавничка, която омекотява допира на шлема за ВР с лицето. Лещите могат да се фокусират. Може и да се контролира разстоянието между тях. При тези шлемове за ВР качеството на виртуалното преживяване зависи от възможностите на телефона – размера на дисплея и неговата разделителна способност, количеството RAM, мощността на SoC. Имат само едно специфично изискване – телефонът трябва да има жирокоп. Жирокопът е абсолютно необходим, за да се пресъздаде VR преживяване. Той следи движението на главата във всички посоки. В повечето случаи устройствата се продават без контролер, както може да се закупи отделно. Контролерите са универсални и се свързват с телефона. Основното предимство на тези шлемове за ВР е ниската цена, която започва от около 10 €, а също и фактът, че повечето от тях са съвместими с всички телефони с размер 4–6 инча. Други предимства са тяхната преносимост и това, че когато се използват, не са свързани с кабел към друго устройство, което създава известен комфорт. Техните недостатъци са следните – работят само с един контролер, който наподобява геймпад и не може да проследи движението на ръцете, нямат устройства за проследяване движението на тялото и потребителят може да се придвижва само с помощта на геймпада.

От този клас в момента се предлага само един шлем за ВР, който е много по-различен от останалите и малко по-скъп, а това е Samsung Gear VR. Неговите различия са следните – има вграден жирокоп, което веднага освобождава телефона, който ще се използва, от това изискване, има сензор за близост, с който следи движението на тялото на потребителя, предлага се с един контролер, в който са интегрирани жирокоп, акселерометър и сензор на магнитното поле, с който се проследява движението на ръката. Той работи само с определени модели на телефоните Samsung. Въпреки някои недостатъци на тези шлемове за ВР те могат да се използват в процеса на обучение. Подходящи са и за деца, и за юноши при подготовката им в гимназията. Могат да се използват както за усвояване на традиционния учебен материал, така и за удовлетворяване на любознателността на учениците. Като интересен пример може да се даде пресъздаването на модела на Слънчевата система или други космически пространства във ВР. Друг важен принцип, който може да се използва, е, че децата запомнят по-лесно, по-бързо и по-трайно преживяното в сравнение с прочетеното, а ВР предлага именно това – преживявания, близки до реалните, вследствие на дълбокото потапяне, което се постига с помощта на шлемовете за ВР.

Вследствие на резултатите от направеното изследване избрахме да направим сравнение между следните 3 устройства в тази категория:

- Allview Visual VR3;
- BOBOVR Z6;
- Samsung Gear VR.

Както вече отбелязахме, шлемовете за ВР от този клас в повечето случаи представляват пластмасова кутия и лещи. Ето защо ще сравним тежестта на устройствата и възможностите на лещите. Лещите са важен компонент на всеки шлем за ВР, те определят размера на полезрението (FoV – Field of View), който се измерва в градуси. От тежестта на устройствата зависи тяхната ергономичност. Други показатели, които считаме за важни, са цената, съвместимостта им с различните модели телефони и допълнителните устройства, включени към тях.

Таблица 1. Сравнение на шлемове за ВР от нисък клас

Показатели	Шлемове за ВР		
	<i>Allview Visual VR3</i>	<i>BOBOVR Z6</i>	<i>Samsung Gear VR</i>
Полезрение	102°	110°	101°
Аудиослушалки	Не *	360° Sound Field	Не *
Контролери	Не *	Не *	1 брой с Gyroscope, Accelerometer, сензор на магнитното поле, Touch control panel
Жироскоп	Не	Не	Да
Сензор за близост	Не	Не	Да
Проследяване на тялото	Не	Не	Да
Съвместимост	Всички телефони 4-6 инча	Всички телефони 4-6 инча	Някои телефони на Samsung
Батерия	Не	3.7. V литиево-полимерна батерия 350mA/h	Не
Тегло	263 гр.	420 гр.	345 гр.
Цена	11 €	50 €	130 \$

Безспорно най-добрите шлемове за ВР в този клас са Samsung Gear VR, но те са обвързани с телефоните на Samsung и са икономически изгодни само ако потребителите вече имат такъв телефон, защото цената на един телефон Samsung, с който Samsung Gear VR може да работи, е по-висока от цената на Oculus Quest – шлем за ВР от среден клас с много по-големи възможности, които почти доближават шлемовете за ВР от висок клас.

2.2. Шлемове за ВР от среден клас

Към този клас определяме шлемовете за ВР, които са зависими от PlayStation и автономните шлемове. Вследствие на резултатите от направеното изследване избрахме да сравним следните 3 устройства:

- Oculus Quest;
- BOBOVR X6;
- PlayStation VR CUH-ZVR2.

PlayStation VR са шлемове, зависими от PlayStation, като моделът на PlayStation, 3/4/5 може да има значение. Те може да се използват в процеса на обучение, като се създават приложения, игри и видеоматериали с образователна цел за масова употреба. Те превъзхождат значително устройствата от нисък клас с възможностите на хардуера, който предлагат, и могат да създадат отлично ВР преживяване, но въпреки това не могат да бъдат препоръчани за процеса на симу-

лация. PlayStation VR CUH-ZVR2 включва – шлем, процесор, камера и безжични слушалки на цена около 300 €. Контролерите PlayStation Move трябва да се закупят отделно за около 80 €. Устройството може да използва безжичния геймпад DUALSHOCK 4, както и безжичните слушалки Gold на PlayStation. В този шлем за VR е интегриран малко хардуер – дисплей, акселерометър, жирокоп. Процесорът е изнесен в допълнителна кутия, камерите за проследяване на движението също са външни. Шлемът и камерата се свързват към процесора, а той – с PlayStation. Основните изчислителни процеси за VR използват CPU, GPU, RAM и мястото за съхранение на PlayStation, както и the external processor unit, които извършва обектнобазирана 3D аудиообработка, важна за VR преживяването и отговаряща за изхода към телевизора. За съжаление е трудно да се намери точно техническо описание на external processor unit. Когато се ползва от потребителя, устройството трябва да е свързано с кабел към процесора. Не се предлага безжична връзка. Този шлем за VR е удобен за обучение, ако потребителят вече го притежава. Комбинацията от PlayStation VR, PlayStation Move и PlayStation струва около 700 €. В случай че закупуването на устройство за симулация и обучение във VR от среден клас предстои, препоръчваме устройството Oculus Quest, което предлага много по-големи възможности на много по-ниска цена от 399 \$.

Автономните шлемове не са зависими от други устройства. Целият необходим хардуер за чудесно VR преживяване е интегриран в тях. Имат възможност да възпроизвеждат 3D видео, заснето с 360°, филми, 3D излъчвания на живо на концерти и други събития, игри и приложения. Те са удобни за употреба и в двата процеса – симулация и обучение. Възможно е да се създават игри и приложения с образователна цел за масова употреба, както и приложения за обучение за индивидуална употреба. Техните преимущества са – мобилност, лесно се пренасят, защото не са обвързани с друго устройство, може да се използват навсякъде, имат ниска цена, което дава възможност за масова употреба, когато работят, не са свързани с кабел към друго устройство, което дава възможност за голяма свобода на движенията и създава допълнителен комфорт. Батерията им издържа в работен режим от 2 до 4 часа, което в повечето случаи е напълно достатъчно за процесите на симулация и обучение. Недостатъците на повечето от тези устройства са – употребата само на един контролер и липсата на възможност за проследяване движението на тялото [2], което ги доближава към по-ниския клас, но има и изключения като Oculus Quest, които предлагат 2 контролера с 6DoF (Degrees of Freedom) и пълно проследяване на тялото. Хардуерът на автономните шлемове за VR обикновено съдържа дисплей, RAM, NAND flash memory for storage, SoC, в който са интегрирани CPU, GPU, modem, Bluetooth и др., няколко камери, които служат за проследяване на движението на тялото, и други важни за VR сензори като жирокоп, акселерометър, сензор на магнитното поле. Шлемът за VR, който за момента е най-добър между автономните устройства, е Oculus Quest. На много ниска цена от 399 \$ той предлага високо ниво на хардуер и софтуер, което е съпоставимо с VR headsets от висок клас, като например VIVE Pro Full Kit с цена 1219 €. Дори от месец май 2020 година Oculus Quest предлага и технологията за проследяване на ръцете, с което изпреварва VIVE Pro Full Kit към същата дата. Единствената причина, поради която нашето изследване не включва този шлем за VR към висок клас, е, че към този клас са определени устройствата, зависими от компютър, а хардуерът на компютъра дава възможност да се използват приложения, които изискват по-голяма изчислителна мощност. Ако приложенията, които ще се използват, не изискват голяма изчислителна мощност, технологията за проследяване на очите или проследяване на движението на краката, то препоръчваме този шлем за VR като перфектното съчетание между качество и цена. Той предлага ниска цена от 399 \$, хардуер с големи възможности, които са описани в таблица 2. Работи, без да е свързан с кабел, което дава голяма свобода на движението и комфорт, софтуер с отлично качество, който предлага и новата технология за проследяване на ръцете, както и нови възможности, и освобождава ръцете на потребителя от носенето на контролери, технологията „движение в определени граници“ (Play inbounds), която се грижи за безопасността на потребителя при движение, пълно проследяване на движенията на главата, тялото и ръцете 6DoF, площ за движение 8x8 метра.

Таблица 2. Сравнение на шлемове за ВР от среден клас

Показатели	Шлемове за ВР		
	<i>Oculus Quest</i>	<i>BOBOVR X6</i>	<i>PlayStation VR</i>
Дисплеи	2	1	1
Технология на дисплея	OLED	LSD	OLED
Размер на дисплея	Няма информация	5.5 инча	5.7 инча
Резолюция на дисплея	2880x1600 (1440x1600 за око)	2560x1440 (1280x1440 за око) поддържа 4K	1920x1080 (960x1080 за око)
Опресняване на дисплея	72 Hz	72 Hz	120 Hz, 90Hz
Полезрение	100°	110°	100°
Тегло	571 g	570 g	600 g
Аудио слушалки	Не *	360° Sound Field	360° Sound Field
Жироскоп	Да	Да	Да
Акселерометър	Да	Да	Да
Сензор на магнитното поле	Да	Да	Не
Сензор за близост	Да	Не	Не
Ултраширокоъгълен сензор за компютърно зрение	4 броя	Не	Не
Проследяване на главата	6DoF	6DoF	6DoF
Проследяване на тялото	4 камери, интегрирани, 6DoF	Не	1 у-во с 2 камери, външно 6DoF
Място за движение с проследяване на тялото	8x8 м	Не	2x2 м
Движение в определени граници (Play Inbounds Technology)	Да	Не	Не
Контролери	2 броя 6DoF	1 брой 3DoF	Не * 2 броя 6DoF

Показатели	Шлемове за ВР		
	<i>Oculus Quest</i>	<i>BOBOVR X6</i>	<i>PlayStation VR</i>
Свързаност	Wi-Fi, Bluetooth, USB Type-C, 3.5 mm Jack	Micro USB	HDMI, USB, Stereo headphone jack
Цена	399 \$, 64 GB 499\$, 128 GB	226 \$	300 €
Зависимост от други устройства	He	He	PlayStation 4/5
SoC	Qualcomm® Snapdragon 835	Allwinner VR9	He **
CPU	4 Kryo 280 Gold 2.45 GHz + 4 Kryo 280 Silver 1.9 GHz (all ARM Cortex-A73 based)	Quad-Core ARM Cortex™-A53 1.8 GHz	He **
GPU	Adreno 540	Mali T760	He **
RAM	4 GB	LP DDR3 2 GB	He **
Място за съхранение	64 GB or 128 BG	EMMC 16 GB	He **
Външно място за съхранение	He	TF max 128 GB	He
Батерия	3.85 V 3648 mAH Lithium- Ion Polymer Max 2-3 hours	3.8 V 4000 mAH Lithium Polymer Max 4 hours	He
OC	Android 7.1.1	Android 7.1	Orbis OS

Легенда:

* може да се закупи допълнително

** зависи от *PlayStation 4/5*

2.3. Шлемове за ВР от висок клас

Към този клас определяме шлемовете за ВР, които са зависими от компютър. При тези устройства по-голямата част от необходимия хардуер за чудесно ВР преживяване се намира в компютъра. Всеки шлем за ВР има специфични минимални изисквания към компютъра, с който ще бъде свързан, а също така и препоръчителни изисквания, които са по-високи от минималните, но предлагат по-голям комфорт при работа. Специфичните изисквания, които тези устройства имат към компютъра, с който ще бъдат свързани, оскъпяват употребата им с минимум 1000 €. В повечето случаи, за да работят, тези устройства трябва да са свързани с кабел към компютър-

ра, което ограничава свободата на движение и създава известен дискомфорт [2]. Изключение от това правило засега правят само моделите с марка VIVE, те предлагат възможност за безжична връзка чрез VIVE Wireless Adapter, който може да се закупи допълнително на цена от 345 € и има изисквания за PCIe slot към компютъра. В тези VR headsets е интегриран малко хардуер – дисплей, няколко сензора – жирокоп и др., няколко камери за проследяване движенията на тялото. Техните основни преимущества са огромната изчислителна мощност и размерът на мястото за съхранение, които компютърът може да предостави. Някои от моделите предлагат технологиите „проследяване на очите“ и „проследяване на обекти“ (може да се проследява движението на краката на потребителя), които засега не се предлагат от устройствата от по-ниските класове. Техните недостатъци са липсата на възможност за безжична връзка при някои от моделите, по-трудно преносими са, когато са свързани към настолен компютър и не могат да работят с всеки компютър, защото имат завишени изисквания към техническите показатели, което значително оскъпява употребата им. Ще направим сравнение между цените и възможностите. Oculus Quest има цена от 399 \$, а HTC VIVE Pro има цена от 1 219 € плюс съвместим компютър с минимална цена от 1000 €, и VIVE Wireless Adapter 345 € за безжична връзка, което прави общо 2 564 €. Тези устройства имат сходни възможности. Преимуществото на HTC VIVE Pro е малко по-голяма изчислителна мощност и опция за добавяне на Object tracking с помощта на VIVE Tracker, който струва около 120 € за един брой. Това дава възможност за проследяване на други обекти или проследяване на краката на потребителя, но Oculus Quest предлага технологията Hand tracking, която HTC VIVE Pro все още не предлага. Зоната за движение при Oculus Quest е 8x8 метра, докато при HTC VIVE Pro е 5x5 метра. HTC VIVE Pro се предлага с 2 Base Stations, но има възможност да се добавя SteamVR Base Station 2.0 за цена от 199 €, което ще увеличи зоната за движение до 10x10 метра. Шлемовете за VR от висок клас са удобни за процесите на симулация и обучение. Те могат да понесат възможно най-голямото натоварване на приложенията, създадени за VR. Вследствие на резултатите от направеното изследване избрахме да направим сравнение между следните 3 устройства:

- Varjo VR-2 Pro;
- HTC VIVE ProEye;
- Oculus Rift S.

Предимството на Oculus Rift S е цената. Той е най-евтиният VR headset в този клас. Неговата цена е 399 \$, а има почти всички възможности на по-скъпите устройства. HTC Vive ProEye предлага технологията Eye tracking за проследяване на движението на очите на потребителя, Object tracking – проследява движението на други устройства или движението на краката на потребителя, и възможност за безжична връзка с помощта на VIVE Wireless Adapter, който може да се закупи допълнително. Varjo VR-2 Pro има най-добрия възможен дисплей – Bionic Display (over 60 PPD / 3000 PPI), който комбинира два дисплея с резолюция 1920x1080 low persistence micro-OLEDs и два дисплея с резолюция 1440x1600 low persistence AMOLEDs. Той предлага технологиите Eye tracking and Hand tracking. Технологията Hand tracking дава възможност на потребителя да осъществява връзка с приложението чрез ръцете си, без да се използват контролери. Това води до 2 съществени преимущества – процесът на симулация става напълно еднакъв с реалността и води до подготовка с по-високо качество, а ръцете на потребителя са свободни от устройства, което създава допълнителен комфорт при употреба. Технологията Eye tracking проследява движението на очите на потребителя. Когато потребителят фиксира погледа си в определена точка, се случват предвидените от програмата неща [1] – например възможно е на определеното място да се получи резултат, който е сравним с гледането под лупа. Възможно е и да се направи изследване къде потребителят е задържал най-много погледа си, което определя и неговите интереси към съответните обекти или ситуации. Bionic Display е технология, която представлява комбинация от традиционен дисплей, подобен на дисплеите на телефоните, и микродисплей. Комбинацията между двата вида дисплей се прави, защото пикселите на традиционния дисплей не са достатъчно малки за човешкото око, но има широко зрително поле, а микродисплеят има малки пиксели, но все още не може да бъде достатъчно голям за широкото зрително поле във VR. Varjo създава технология, която комбинира двата вида дисплеи, като всеки има своя задача. Прави се прецизно проследяване на очите

на потребителя и в центъра на неговото ползване върху традиционния дисплей се отразява изображението с висока разделителната способност от микродисплея. В останалата част на традиционния дисплей картината остава с по-ниска разделителна способност, но се взема предвид фактът, че там е съсредоточено периферното зрение на потребителя. По тази причина не се налага изображението да е с висока разделителна способност. Тези технологии са нови и се очаква в бъдеще да доведат до нови възможности при процесите за придобиване на знания.

Таблица 3. Сравнение на шлемове за ВР от висок клас

Показатели	Шлемове за ВР		
	<i>Varjo VR-2 Pro</i>	<i>HTC VIVE ProEye</i>	<i>Oculus Rift S</i>
Дисплеи	4	2	1
Технология на дисплея	2 броя micro-OLED 2 броя AMOLED.	OLED	LCD
Размер на дисплея	няма информация	3.5 инча	няма информация
Резолюция на дисплея	1920x1080, 1440x1600	2880 x 1600 (1440x1600 за око)	2560x1440 (1280x1440 за око)
Опресняване на дисплея	60 Hz (централен дисплей) 90 Hz (периферен дисплей)	90 Hz	80 Hz
Ползване	87°	110°	110°
Тегло	605 g	няма информация	500 g
Аудиослушалки	Не *	360° Sound Field	Не *
Жироскоп	Да	Да	Да
Акселерометър	Да	Да	Да
Сензор на магнитното поле	Не	Не	Да
Сензор за близост	Не	Да	Не
IPD sensor	Да	Да	Не
Проследяване на очите	Да	Да	Не
Проследяване на главата	6DoF	6DoF	6DoF
Проследяване на тялото	SteamVR Tracking 1.0 or 2.0, 6DoF	SteamVR Tracking 2.0, 6DoF, 5x5m	5 cameras, integrated, 6DoF
Движение в определени граници (Play inbounds technology)	няма информация	Да	Да
Контролери	Не *	2 броя, 6DoF	2 броя, 6DoF

Показатели	Шлемове за ВР		
	<i>Varjo VR-2 Pro</i>	<i>HTC VIVE ProEye</i>	<i>Oculus Rift S</i>
Свързаност	USB-C, optical fiber cables of 10 meter length, 2x DisplayPort 1.2 / 2x mini DisplayPort 1.2, USB-A 3.0	DisplayPort 1.2, USB-C 3.0, Bluetooth	DisplayPort 1.2, USB 3.0
Няколко участници едновременно	He	Да	He
Цена	5 995 €	1,439 €	399.99 \$
Минимални изисквания			
CPU	Intel Core i7-6700 / AMD FX 9590	Intel i5-4590 / AMD FX 8350	Intel i3-6100 / AMD Ryzen 3 1200, FX4350
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080, NVIDIA Quadro P6000	NVIDIA GeForce GTX 970 / AMD Radeon R9 290	NVIDIA GTX 1050 Ti / AMD Radeon RX 470
RAM	16 GB DDR4-RAM	4 GB RAM	8 GB RAM
Препоръчителни изисквания			
CPU	Intel Core i7-8700 / AMD Ryzen 7 2700 or greater	Intel Core i5-4590 / AMD FX 8350 or greater	Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X or greater
GPU	NVIDIA GeForce RTX 2080 / NVIDIA Quadro RTX 6000 or greater	NVIDIA GeForce GTX 1070/ Quadro P5000, AMD Radeon Vega 56 or greater	NVIDIA GTX 1060 / AMD Radeon RX 480 or greater
RAM	32 GB RAM or greater	4 GB RAM or greater	8 GB RAM or greater
OC	Windows 10	Windows 7 / 8.1 /10	Windows 10

Легенда:

* може да се закупи допълнително

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщавайки резултатите от проведеното изследване, можем да кажем, че всички шлемове за ВР биха могли да бъдат полезни в процеса на training and learning. В никакъв случай не трябва да се пренебрегват шлемове за ВР от нисък или среден клас, защото поради тяхната по-ниска цена могат да имат масова употреба. Също така има множество приложения, които биха могли да се разработят именно за тях и да бъдат от огромна полза. Шлемовете за ВР, които са зависими от телефон и PlayStation, са удобни за употреба предимно в процеса на learning, като могат да се създават приложения и игри с образователна цел. Освен това може да се използват и видеоматериали, заснети с 360° камера, като възможност за изучаване на природата, животинския свят и др. Автономните шлемове за ВР, зависими от компютър и Samsung Gear VR може да се използват в процеса на training and learning, като всяко от посочените устройства може да понесе различно

натоварване и да удовлетвори определени изисквания. За да се определи кое устройство ще бъде най-подходящо за постигане на конкретни цели, в процеса на training and learning е необходимо да се анализира категорията на хората, които ще се обучават, техните професионални нужди и финансови възможности, техническите изисквания, които ще могат да понесат необходимото натоварвани технологиите, които ще трябва да се използват. Друго важно заключение от направеното изследване е отличаването на няколко устройства от съответните класове, които предлагат най-големи възможности: нисък клас – Samsung Gear VR, среден клас – Oculus Quest, висок клас – VIVE Pro Eye и Varjo VR-2 Pro. Във висок клас избираме 2 устройства, защото в проучването е включена и цената на устройствата. Varjo VR-2 Pro е безспорен лидер в качеството на дисплея и възможността за Edit a 3D project inside virtual reality with Varjo Workspace, но има сравнително висока цена (5995 €) и все още не предлага wireless connection. Технологиата Varjo Workspace, която е преимущество на този VR headset, е необходима за 3D дизайнерите, но не може да намери приложение в процеса на training and learning. Другите 2 технологии, които Varjo VR-2 Pro предлага, могат да бъдат получени и на по-ниска цена: hand tracking – Oculus Quest с цена 399 \$, работи, без да е свързан с кабел, защото е автономно устройство, eye tracking – VIVE ProEye с цена 1 439 €, потребителят може да избира между връзка с кабел или wireless connection. Направеното проучване сочи, че най-мощният VR headset засега е Varjo VR-2 Pro това е единственият шлем за ВР подходящ за обещание на космонавтите, а устройството, което предлага големи възможности на най-ниска цена, е Oculus Quest. През последните години шлемове за ВР от висок клас предложиха множество нови технологии; като eye tracking, hand tracking, tracking with Base Stations, object tracking and wireless connection, които дават нови възможности в процеса на training and learning и които предстои да бъдат усвоявани по-добре, за да могат да подпомогнат максимално придобиването на знания. Всичко това предлага огромни предизвикателства към разработчиците на приложения за training and learning with VR, както и към лицата, отговорни за добрата подготовка на учениците и висококвалифицирания персонал.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Clay, V., König, P., Koenig, S. 2019. Eye Tracking in Virtual Reality. *Journal of Eye Movement Research*, Vol. 12, No. 1, pp. 1–17, doi: 10.16910/jemr.12.1.3
- [2] Papachristos, N., Vrellis, I., Mikropoulos, T. 2017. A Comparison between Oculus Rift and a Low-Cost Smartphone VR Headset: Immersive User Experience and Learning. *IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies*, Timisoara, 2017, pp. 477–481, doi: 10.1109/ICALT.2017.145.

ИНФОРМАЦИЯ ЗА АВТОРИТЕ

Елица Бакалова – докторант, специалност „Информатика“, факултет „Математика и информатика“, Великотърновски университет „Св. св. Кирил и Методий“, e-mail: elitsa.i.bakalova@gmail.com

Емилиян Петков – доцент, доктор, факултет „Математика и информатика“, Великотърновски университет „Св. св. Кирил и Методий“, e-mail: petkovemiliyan@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Elitsa Bakalova – PhD Student in Informatics, Faculty of Mathematics and Informatics, St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo, Bulgaria, E-mail: elitsa.i.ba-kalova@gmail.com

Emiliyan Petkov – Associate Professor, PhD, Faculty of Mathematics and Informatics, St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo, Bulgaria, E-mail: petkovemili-yan@gmail.com