**Компьютерные науки, прибостроение и автоматизация**

**Компьютерлік ғылымдар, аспап жасау және автоматтандыру**

**Computer science, instrumentation and automation**

**УДК: 519.6**

**МРНТИ 50.05, 50.41**

**К.Алибеккызы**1**\*, М.А.Карменова**2

1Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,

Усть-Каменогорск, Казахстан

2 Восточно-Казахстанский университет им. С.Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

*1E-mail:* [*karlygash.alibekkyzy@mail.ru\**](mailto:karlygash.alibekkyzy@mail.ru*)

**ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ DIGITAL TWIN В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС НА ПРИМЕРЕ ОБУЧЕНИЯ РЕМОНТУ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

***Аннотация.*** *Технологии Digital Twin приминяется в учебном процессе. Этот процесс дает совершенно новые возможности для предоставления информации и получения как теоретических, так и практических знаний. Данная технология полностью меняет способ взаимодействия пользователей с устройством. Технология Digital Twin дает им свободу экспериментировать и придумывать смелые инновационные приложения или прототипы. Процесс обучения в области ремонта авиационной техники состоит из дорогостоящих оборудование. Для получения эффективного образования необходимо внедрять новые образовательные средства и технологии. Благодаря своим преимуществам технология DT широко используется в исследовательских, промышленных и образовательных областях*

*Целью статьи является подход к разработке механизма обучающего программного средства на примере ремонта агрегатов авиационной техники. Программное обеспечение реализованно с помощью технологий DT и 3D моделирования и оценка его эффективности при внедрении в учебный процесс.* *Преимуществом демонстрационных DT перед мультимедийными программными продуктами является высокий уровень реалистичности при отображении информации. Полученное обучающее программное средство предоставит возможность получения практических навыков в процессе обучения в тех областях.*

***Ключевые слова:*** *метод интервального повторения, Digital Twin (DT), обучающие программные средства, 3D модель, цифровые двойники, агрегат, технология.*

**Введение.**

Постоянная эволюция технологий выводит образование на новый уровень, которое становится гораздо более привлекательным для студентов, делает возможным использование новых инструментов, что в свою очередь ведет к эволюции процесса обучения [1]. В результате распространения компьютеров и развития интернета информационные системы стали незаменимым инструментом, поддерживающим учебный процесс. В последние годы они определенно укрепили свои позиции не только как эффективный и действенный инструмент, дополняющий традиционные методы и средства, используемые в образовании, но и как первоисточник знаний и формирования профессиональной компетентности [1, 3, 4, 5]. Проведенные до сих пор исследования показывают, что пользователь, находящийся в иммерсивной среде, эффективно усваивает знания [6, 7]. Благодаря своим преимуществам технология DT широко используется в исследовательских, промышленных и образовательных областях [8]. Относительная дешевизна современных виртуальных гарнитур дает даже малобюджетным учебным заведениям возможность проводить надлежащее практическое обучение [8].

Целью исследования является разработка механизма обучающего программного средства на примере ремонта агрегатов авиационной техники, реализованного с помощью технологий DT и 3D моделирования, и оценка его эффективности при внедрении в учебный процесс. Полученное обучающее программное средство предоставит возможность получения практических навыков в процессе обучения в тех областях.

**Материалы и методы исследования.**

Как следует из, модернизация промышленных предприятий происходит благодаря масштабному внедрению цифровых технологий. Трендом трансформации создание и применение цифровых двойников (DT).

По назначению DT классифицируются на следующие группы: компоненты, прототипы, демонстраторы, оптимизаторы, программаторы, тени и менеджеры.

DT для демонстрации используют для следующих целей:

- визуального представления клиентам технологических решений и продукции в соответствии с техническим заданием;

- информирования пользователей: 3D-туры по производству, инструкции и руководства с динамическими изменениями.

Преимуществом демонстрационных DT перед мультимедийными программными продуктами является высокий уровень реалистичности при отображении информации. Благодаря этому свойству данный тип DT нашел широкое применение при реализации технологических процессов настройки, ремонта, обслуживания и монтажа оборудования.

Передовым трендом совершенствования демонстрационных DT является применение технологий виртуальной/дополненной реальности (Virtual/Augmented Reality). Это позволяет обеспечивать ряд эффективных преимуществ в комплексе с 3D-визуализацией и эффектами погруженности, т.е. непосредственного присутствия в DT.

Модель DT агрегатов авиационной техники для ремонта имеет сложную форму и включает математические функции и логические процедуры, при этом на выходе формируется готовый к использованию программный модуль

(1)

где - программный модуль, включающий функции: *C* - контроля и *V*- оценки;

- техническая документация (регламент) для разработки ;

- техническая документация для использования/эксплуатации;

- экспертные рекомендации по компоновке, расположению элементов, эстетичности и дизайну;

– программное обеспечение Unreal Engine 4

В выражении (1) «сшитая» трехмерная 3D-модель формируется при помощи программного обеспечения

. (2)



В выражении (2) благодаря процедуре текстурирования, создается цветовое описание неразъемным деталям на основе реального цвета

(3)



где - цветовая система, применяемая для формирования изображений трехмерных моделей неразъемных деталей;

- экспертные рекомендации разработчика по текстурированию моделей.

При обучении с применением цифровых двойников процессов ремонта вертолетной техники необходимо оценивать уровень подготовленности для работы на реальном оборудовании.

При проведении исследования по в данном направлении необходимо решение двух задач:

1) определить оптимальное количество практических заданий для объективной оценки подготовленности обучающихся для работы на реальном оборудовании;

2) определить значимость определенного практического задания по оценке подготовленности обучающихся.

Алгоритмически методика исследований реализуется следующими этапами.

*Шаг 1.* Составляется таблица - лингвистический ряд авиационных агрегатов, ранжированный по увеличению числа входящих в агрегат элементов и инструментов

*Шаг 2.* Определяем временной параметр оценки

, (4)

где - нормированное время сборки или разборки агрегата;

- измеренное время сборки или разборки агрегата;

*i*- порядковый номер агрегата.

*Шаг 3.* Для проведения дальнейшего статистического анализа составим матрицу коэффициентов корреляции для определения уровня подготовленности раздельно, по профилю работы. В данных таблицах - оценочный временной параметр, а - обучающийся.

*Шаг 4.* Выполним оценку полученных значений оценочного временного параметра Δ*t*, показанного испытуемыми на различных агрегатах.

На рисунке 1 показано среднее выборочное Δ*t*, определяемое по формуле:

 (5)

где n – количество произведенных сборок агрегатов.

*Шаг 5.* Определяется общее среднее выборочное по значениям 

 (6)

По среднему оценивают соответствие предъявляемым нормативам.

*Шаг 6.* Однако, средняя оценка является не всегда устойчива к выбросам, то определяется более робастная оценка - медианное значение. Медиана или серединное значение набора чисел – это число, которое находится в середине этого набора, если его упорядочить по возрастанию. Т.е. такое число, что половина из элементов набора не меньше него, а другая половина не больше.

*Шаг 7.* Проводится анализ стабильности времени на сборке различных агрегатов. Для этой цели используем параметр среднеквадратического отклонения σ(Δt).

*Шаг 8.* Определяются величины для наилучшего и наихудшего значения Δt для каждого испытуемого (обучающегося). Это позволяет оценивать степень усвоения материала по сборке конкретных типов приборов и необходимости проведения дополнительных обучающих по данному направлению. На основании этих данных можно выполнить корректировку процесса обучения.

*Шаг 9.* Для оценки влияния количества деталей в собираемом агрегате на время сборки (параметр Δt) вычисляются коэффициенты корреляции Пирсона для каждого испытуемого по формуле:

 (7)

где N – число деталей в агрегате; σΔt и σN – среднеквадратические отклонения оценочного временного параметра Δ*t* и числа деталей в агрегате соответственно; covΔt,N – ковариация между оценочным временным параметром Δ*t* и числом деталей N;  – среднее значение числа деталей.

Определяется количество испытуемых, которые показали лучшие или худшие результаты на сборке конкретного агрегата, а также общую тенденцию сборки каждого отдельного агрегата и определить наиболее сложные для освоения.

*Шаг 10.* Для индивидуальной оценки результатов каждого испытуемого диаграмма boxplot, описание которой показано на рисунке 9.



Рисунок 1 – Построение диаграммы boxplot

*Q*1, *Q*3 – 1 и 3 квартили (25-ый и 75-ый процентиль соответственно); *IQR* – интерквартильный размах; median – медиана (50-ый процентиль)

**Результаты и их обсуждение.**

Экспериментально-статистические исследования были связаны с оценкой подготовленности студентов бакалавриата для образовательной программы "Авиационная техника и технологии" АО "Академия гражданской авиации". В соответствии с разработанным и описанным в предыдущем подразделе алгоритмом составлена таблица1 параметров цифрового двойника.

В таблице 1 лингвистический ряд авиационных агрегатов, ранжированный по увеличению числа входящих в агрегат элементов и инструментов

Исследования проводились для 25 агрегатов, которые были разработаны и внедрены на АО "Авиаремонтный завод №405" цифровые двойники

Таблица 1 - Параметры для определения уровня подготовленности механиков

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i* |  |  |  |  |  |
| 1 | – 242-5800-10 | 12 | 112 | 109 | 0,026786 |
| 2 | – 636100 | 21 | 198 | 191 | 0,035354 |
| 3 | – УП-25/2 | 23 | 204 | 201 | 0,014706 |
| 4 | – ГА-59 | 28 | 255 | 244 | 0,043137 |
| 5 | – УП 03/2М | 28 | 295 | 277 | 0,061017 |
| 6 | – ЭЦН-91Б | 28 | 327 | 325 | 0,006116 |
| 7 | – АК-50Т | 37 | 380 | 364 | 0,042105 |
| 8 | – 748Б | 41 | 458 | 456 | 0,004367 |
| 9 | – АД-50 | 53 | 508 | 507 | 0,001969 |
| 10 | – ГА-192Т | 59 | 512 | 508 | 0,007813 |
| 11 | – УБШ | 59 | 532 | 523 | 0,016917 |
| 12 | – 463Б | 69 | 569 | 568 | 0,001757 |
| 13 | – ГА-77В | 74 | 577 | 572 | 0,008666 |

Таблица 2 - Параметры для определения уровня подготовленности электронщиков

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i* |  |  |  |  |  |
| 1 | – КОЧ-1А | 8 | 105 | 75 | 0,285714 |
| 2 | – ДВ-302 | 13 | 129 | 127 | 0,015504 |
| 3 | – ЭМ-662Т | 17 | 141 | 132 | 0,06383 |
| 4 | – СД-29 | 20 | 168 | 149 | 0,113095 |
| 5 | – ЭМКО | 20 | 186 | 174 | 0,064516 |
| 6 | – Д-1М | 24 | 220 | 217 | 0,013636 |
| 7 | – ФР-100 | 25 | 230 | 229 | 0,004348 |
| 8 | – МП-100С | 32 | 338 | 337 | 0,002959 |
| 9 | – МСТ-25А | 39 | 448 | 433 | 0,033482 |
| 10 | – МВ-280Б | 44 | 485 | 467 | 0,037113 |
| 11 | – ЭМТ-2М | 51 | 476 | 473 | 0,006303 |
| 12 | – ИТЭ-1(2) | 60 | 565 | 563 | 0,00354 |

Для проведения дальнейшего статистического анализа была составлена матрица коэффициентов корреляции для определения уровня подготовленности механиков (таблица 3) и электронщиков (таблица 4). В данных таблицах - оценочный временной параметр, а - обучающийся. Для эксперимента привлекались 50 студентов-механиков и 50 студентов-электронщиков, прошедших практический курс занятий с применением цифрового двойника в объеме 25 часов по фронтальному методу.

Таблица 3 - Матрица коэффициентов корреляции ля определения уровня подготовленности механиков

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i* |  |  | ( | . | ( | . | ( |
| 1 | – 242-5800-10 | 12 | 0,026786 |  |  |  |  |
| 2 | – 636100 | 21 | 0,035354 |  |  |  |  |
| 3 | – УП-25/2 | 23 | 0,014706 |  |  |  |  |
| 4 | – ГА-59 | 28 | 0,043137 |  |  |  |  |
| 5 | – УП 03/2М | 28 | 0,061017 |  |  |  |  |
| 6 | – ЭЦН-91Б | 28 | 0,006116 |  |  |  |  |
| 7 | – АК-50Т | 37 | 0,042105 |  |  |  |  |
| 8 | – 748Б | 41 | 0,004367 |  |  |  |  |
| 9 | – АД-50 | 53 | 0,001969 |  |  |  |  |
| 10 | – ГА-192Т | 59 | 0,007813 |  |  |  |  |
| 11 | – УБШ | 59 | 0,016917 |  |  |  |  |
| 12 | – 463Б | 69 | 0,001757 |  |  |  |  |
| 13 | – ГА-77В | 74 | 0,008666 |  |  |  |  |

Таблица 4 - Матрица коэффициентов корреляции ля определения уровня подготовленности электронщиков

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i* |  |  | ( | . | ( | . | ( |
| 1 | – КОЧ-1А | 8 | 0,285714 |  |  |  |  |
| 2 | – ДВ-302 | 13 | 0,015504 |  |  |  |  |
| 3 | – ЭМ-662Т | 17 | 0,06383 |  |  |  |  |
| 4 | – СД-29 | 20 | 0,113095 |  |  |  |  |
| 5 | – ЭМКО | 20 | 0,064516 |  |  |  |  |
| 6 | – Д-1М | 24 | 0,013636 |  |  |  |  |
| 7 | – ФР-100 | 25 | 0,004348 |  |  |  |  |
| 8 | – МП-100С | 32 | 0,002959 |  |  |  |  |
| 9 | – МСТ-25А | 39 | 0,033482 |  |  |  |  |
| 10 | – МВ-280Б | 44 | 0,037113 |  |  |  |  |
| 11 | – ЭМТ-2М | 51 | 0,006303 |  |  |  |  |
| 12 | – ИТЭ-1(2) | 60 | 0,00354 |  |  |  |  |

По формуле (5) была выполнена оценка полученных значений временного параметра Δ*t*, показанного испытуемыми на различных агрегатах.

На рисунке 2 показано среднее выборочное Δ*t*, а также отдельно значения  для механических и электрических агрегатов (механики и электрики соответственно).



Рисунок 2 – Среднее выборочное Δ*t*

Также на рисунке 2 точками показано общее среднее выборочное, рассчитанное по формуле (6) по значениям совместно для электрических и механических агрегатов

Полученное значение *mean* () = 0,0209, при этом различия для разных типов агрегатов по данному параметру являются незначительными:

*mean* () = 0,0199,

*mean* () = 0,0218.

Анализируя полученные результаты по можно сделать вывод, что среднее по выборке соответствует предъявляемым нормативам. Однако, средняя оценка является неустойчивой к выбросам. Рассмотрим величину более робастной оценки, которой является медианное значение. На рисунке 3 показаны рассчитанные медианные значения *median*(Δt) для каждого испытуемого. Данные также разделены на показатели для механических и электрических агрегатов.



Рисунок 3 – Медианное значение Δ*t*

На график рисунка 3 точками также нанесены значения медианы для совокупности всех значений Δ*t* отдельно для механических и электрических агрегатов. Основываясь на представленной информации, можно сделать вывод, что время сборки механических агрегатов в общем меньше, чем время для электрических агрегатов. Это следует из того, что линия медианы параметра Δ*t* (голубые точки на рисунке 3) механических приборов располагается выше медианы электрических (красные точки).

Далее оценим параметр среднеквадратического отклонения σ(Δt), т.е. насколько стабильное время показывают испытуемые на сборке агрегатов.

На рисунке 4 представлены рассчитанные значения σ(Δt) для механических и электрических агрегатов. У определенной группы испытуемых имеется отличный от остальных разброс по времени при сборке механических агрегатов. Об этом свидетельствуют значения среднеквадратического отклонения. Из этого наблюдения можно предположить, что некоторые участники исследования имели трудности при сборке определенных типов механических агрегатов.



Рисунок 4 – Среднеквадратическое отклонение Δt

Далее определим величины для наилучшего и наихудшего значения Δt для каждого испытуемого. Эти данные показаны на рисунке 5 и рисунке 6 соответственно.



Рисунок 5 – Лучшее значение Δt для каждого испытуемого



Рисунок 6 – Худшее значение Δt для каждого испытуемого

Анализ данных рисунков 5 и 6 показывает, что часто одни и те же испытуемые демонстрируют высокие показатели при сборке одного типа агрегатов и низкие показатели при сборке других. Это может свидетельствовать о не усвоении материала по сборке конкретных типов приборов и необходимости проведения дополнительных обучающих по данному направлению.

Таким образом, можно утверждать, что статистические данные по оценке Δt несут чрезвычайно полезную информацию о процессе обучения испытуемых. На основании этих данных можно выполнить корректировку процесса обучения.

На рисунке 7 показано значение коэффициента корреляции Пирсона, рассчитанное для каждого испытуемого.

Из рисунка 7 видно, что линейная зависимость между числом деталей и Δ*t* практически отсутствует. Из этого следует, что параметр Δ*t­* может эффективно отображать полученные навыки в сборке агрегатов независимо от его типа и числа входящих в его состав компонентов.

Для определения испытуемых, которые показали лучшие или худшие результаты на сборке конкретного агрегата можно воспользоваться графиком на рисунке 8. На данном рисунке приводятся данные для величины Δ*t* для каждого испытуемого по каждому механическому агрегату. На рисунке 9 приводится аналогичная информация по электрическим агрегатам.

На рисунков 8 и 9 следует, что каждый агрегат помечен своим цветом в зависимости от числа деталей N в нем.



Рисунок 7 – Линейная корреляция между числом элементов в агрегате и значением Δ*t*



Рисунок 8 – Зависимость Δ*t* по каждому механическому агрегату для каждого испытуемого

Графики рисунков 7 и 8 позволяют проанализировать общую тенденцию сборки каждого отдельного агрегата и определить наиболее сложные для освоения.



Рисунок 9 – Зависимость Δ*t* по каждому электрическому агрегату для каждого испытуемого

**Заключение.**

В обучении вместо дорогостоящих инструментов и лабораторий экономичнее применять их копии в виде 3D-моделей с идентичными физическими свойствами. DT технология позволяет проводить учебные мероприятия, которые сложно реализовать на обычных лабораторных занятиях.

Опыт внедрения виртуальной реальности в образовательный процесс показал преимущество перед традиционными технологиями обучения, так как обучаемый активен и может улучшить свои навыки на прототипе реальной практики. Однако самое эффективное – это обучение с применением цифровых двойников на VR и на реальных объектах.

Рассмотрено решение проблемы цифровой трансформации авиационной отрасли по фазе технического обслуживания и ремонта воздушного судна, где ключевым моментом является оцифровка эксплуатационной документации с созданием цифрового документа и создание прикладного программного обеспечения в виде цифрового двойника в среде виртуальной реальности.

Рассмотрено решение проблемы цифровой трансформации авиационной отрасли по фазе технического обслуживания и ремонта воздушного судна. На первом этапе осуществляется оцифровка эксплуатационной документации с созданием цифрового документа и прикладное программное обеспечение в виде цифрового двойника в среде виртуальной или дополненной реальности.

Приведены результаты экспериментальных исследований с применением метода анализа аттестации обучающихся с применением цифровых двойников при сборке авиационных агрегатов. Установлено, что на производственном участке авиаремонтного предприятия эффективно применять обучение на первом этапе с применением цифровых двойников, а на втором - с применением реальных объектов.

Опыт внедрения данной технологии в образовательный процесс показал преимущество перед традиционными технологиями обучения, так как обучаемый активен и может улучшить свои навыки на прототипе реальной практики.

**Список литературы**

1. Пиовесан С.Д., Пассерино Л.М., Перейра А.С. Виртуальная реальность как инструмент в образовании. Международная конференция IADIS по когнитивному и исследовательскому обучению в цифровую эпоху (CELDA); Мадрид, Испания; 2012. стр. 295-298.

2. Курат-уль-Айн, Шахид Ф., Алим М., Ислам А., Икбал М., Юсуф М. Обзор технологических инструментов в преподавании информатики. Евразийский журнал математического, научно-технического образования; 2019. 15(11). С. 17. DOI: 10.29333/ejmste/109611

3. Сигерер С., Ромейке Р. Информатика как фундаментальная компетенция для преподавателей других дисциплин. В материалах 13-го семинара по начальному и среднему компьютерному образованию (WiPSCE); Нью-Йорк, США; 2018. стр. 1-2. DOI: 10.1145/3265757.3265787

4. Стошич Л., Стошич И. Представления учителей о внедрении Интернета в образование. Роль компьютеров в поведении человека; 2015. 53. с. 462-468. DOI: 10.1016/j.chb.2015.07.027

5. Татналл А., Дэйви Б. Размышления об истории использования компьютеров в образовании. Достижения IFIP в области информационных и коммуникационных технологий; США; 2014. 424. с. 129-152.

6. Лан Ю.Дж. Погружение в виртуальную реальность для изучения языка. Психология обучения и мотивации; 2020. 72. с. 1-26. DOI: 10.1016/bs.plm.2020.03.001

7. Пашкевич А., Салах М., Стршалка Д., Будзик Г., Никодем А., Войчик Х., Витек М. Система поддержки обучения виртуальной реальности на примере проектирования цифровых схем. Избранные вопросы электротехники, электроники и мехатроники; 2022. 15(1). стр. 277-301. DOI: 10.3390/en15010277

8. Уртадо К.В., Валерио А.Р., Санчес Л.Р. Робототехническая система виртуальной реальности для обучения. В 2010 году на конференции IEEE по электронике, робототехнике и автомобильной механике; 2010. стр. 162-167. DOI:10.1109/CERMA.2010.98

9. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация: анализ, тренды, мировой опыт. – М.: АльянсПринт, 2019. – 368 с.

**10.** Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты // XXII Международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества. – Москва, 2021 г. – С. 11-16.

**Referenсes**

1. Piovesan S.D., Passerino L.M., Pereira A.S. Virtual'naya real'nost' kak instrument v obrazovanii. Mezhdunarodnaya konferentsiya IADIS po kognitivnomu i issledovatel'skomu obucheniyu v tsifrovuyu epokhu (CELDA); Madrid, Ispaniya; 2012. str. 295-298.

2. Kurat-ul'-Ain, Shakhid F., Alim M., Islam A., Ikbal M., Yusuf M. Obzor tekhnologicheskikh instrumentov v prepodavanii informatiki. Evraziiskii zhurnal matematicheskogo, nauchno-tekhnicheskogo obrazovaniya; 2019. 15(11). S. 17. DOI: 10.29333/ejmste/109611

3. Sigerer S., Romeike R. Informatika kak fundamental'naya kompetentsiya dlya prepodavatelei drugikh distsiplin. V materialakh 13-go seminara po nachal'nomu i srednemu komp'yuternomu obrazovaniyu (WiPSCE); N'yu-Iork, SShA; 2018. str. 1-2. DOI: 10.1145/3265757.3265787

4. Stoshich L., Stoshich I. Predstavleniya uchitelei o vnedrenii Interneta v obrazovanie. Rol' komp'yuterov v povedenii cheloveka; 2015. 53. s. 462-468. DOI: 10.1016/j.chb.2015.07.027

5. Tatnall A., Deivi B. Razmyshleniya ob istorii ispol'zovaniya komp'yuterov v obrazovanii. Dostizheniya IFIP v oblasti informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologii; SShA; 2014. 424. s. 129-152.

6. Lan Yu. Dzh. Pogruzhenie v virtual'nuyu real'nost' dlya izucheniya yazyka. Psikhologiya obucheniya i motivatsii; 2020. 72. s. 1-26. DOI: 10.1016/bs.plm.2020.03.001

7. Pashkevich A., Salakh M., Strshalka D., Budzik G., Nikodem A., Voichik Kh., Vitek M. Sistema podderzhki obucheniya virtual'noi real'nosti na primere proektirovaniya tsifrovykh skhem. Izbrannye voprosy elektrotekhniki, elektroniki i mekhatroniki; 2022. 15(1). str. 277-301. DOI: 10.3390/en15010277

8. Urtado K.V., Valerio A.R., Sanches L.R. Robototekhnicheskaya sistema virtual'noi real'nosti dlya obucheniya. V 2010 godu na konferentsii IEEE po elektronike, robototekhnike i avtomobil'noi mekhanike; 2010. str. 162-167. DOI:10.1109/CERMA.2010.98

9. Prohorov A., Konik L. Cifrovaya transformaciya: analiz, trendy, mirovoj opyt. – M.: Al'yansPrint, 2019. – 368 s.

10. Abdrahmanova G.I., Byhovskij K.B., Veselitskaya N.N., Vishnevskij K.O., Gohberg L.M. Cifrovaya transformaciya otraslej: startovye usloviya i prioritety // XXII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. – Moskva, 2021 g. – S. 11-16.

**АВИАЦИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫ ЖӨҢДЕУГЕ ОҚЫТУ МЫСАЛЫНДА ОҚУ ҮРДІСІНЕ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЕНГІЗУ**

***Аңдатпа****. Аннотация. Digital Twin технологиясы Оқу процесінде қабылданады. Бұл процесс ақпарат беруге және теориялық және практикалық білім алуға мүлдем жаңа мүмкіндіктер береді. Бұл технология пайдаланушылардың құрылғымен өзара әрекеттесу тәсілін толығымен өзгертеді. Digital Twin технологиясы оларға тәжірибе жасауға және батыл инновациялық қолданбаларды немесе прототиптерді ойлап табуға еркіндік береді. Әуе кемелерін жөндеу саласында оқыту процесі күрделі және қымбат. Тиімді білім алу үшін жаңа білім беру құралдары мен технологияларын енгізу қажет. DT технологиясы өзінің артықшылықтарына байланысты ғылыми-зерттеу, өндірістік және білім беру салаларында кеңінен қолданылады.*

*Мақаланың мақсаты авиациялық техника агрегаттарын жөндеу мысалында оқыту бағдарламалық құралының тетігін әзірлеуге көзқарас болып табылады. Бағдарламалық жасақтама DT және 3D модельдеу технологиялары арқылы жүзеге асырылады және оқу процесіне енгізу кезінде оның тиімділігін бағалау. Демонстрациялық DT-дің мультимедиялық бағдарламалық өнімдерге қарағанда артықшылығы-ақпаратты көрсету кезінде шынайылықтың жоғары деңгейі. Алынған оқу құралы сол салаларда оқу процесінде практикалық дағдыларды алуға мүмкіндік береді.*

***Түйін сөздер****: аралық қайталау әдісі, Digital Twin (DT), оқыту бағдарламалық құралы, 3D моделі, сандық егіздер, қондырғы, технология.*

**INTRODUCTION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY IN THE EDUCATIONAL PROCESS ON THE EXAMPLE OF TRAINING TO REPAIR AVIATION EQUIPMENT UNITS**

***Abstract.*** *Digital Twin technologies are used in the educational process. This process provides completely new opportunities for providing information and obtaining both theoretical and practical knowledge. This technology completely changes the way users interact with the device. Digital Twin technology gives them the freedom to experiment and come up with bold, innovative applications or prototypes. The training process in the field of aircraft repair consists of expensive equipment. In order to receive effective education, it is necessary to introduce new educational tools and technologies. Due to its advantages, DT technology is widely used in research, industrial and educational fields.*

*The purpose of the article is an approach to the development of a learning software mechanism using the example of repair of aviation equipment units. The software is implemented using DT and 3D modeling technologies and evaluating its effectiveness when implemented in the educational process. The advantage of demo DTS over multimedia software products is a high level of realism in the display of information. The received training software will provide an opportunity to gain practical skills in the learning process in those areas.*

***Keywords:*** *interval repetition method, Digital Twin (DT), training software, 3D model, digital twins, aggregate,* *technology.*

**Авторлар туралы мәлімет**

|  |  |
| --- | --- |
| Алибеккызы Карлыгаш | PhD, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Ақпараттық технологиялар және зияткерлік жүйелер мектебі» қауымдастырылған профессоры, , Өскемен қ., Қазақстан  E-mail: [karlygash.alibekkyzy@mail.ru](mailto:karlygash.alibekkyzy@mail.ru) |
| Карменова Мархаба Ахметоллиновна | PhD, С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің қауымдастырылған профессоры,, Өскемен қ., Қазақстан  E-mail:mmm058246@gmail.com |

**Сведение об авторах**

|  |  |
| --- | --- |
| Алибеккызы Карлыгаш | PhD, ассоциированный профессор «Школа информационных технологий и интеллектуальных систем», Восточно-Казахстанский технический универитет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан  E-mail: [karlygash.alibekkyzy@mail.ru](mailto:karlygash.alibekkyzy@mail.ru) |
| Карменова Мархаба Ахметоллиновна | PhD, ассоцированный профессор Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,  E-mail:[mmm058246@gmail.com](mailto:mmm058246@gmail.com) |

**Information about the authors**

|  |  |
| --- | --- |
| Alibekkyzy Karlygash | PhD, Associate Professor, School of Information Technologies and Intelligent Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru |
| Karmenova Marhaba | PhD, Associate Professor, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: [mmm058246@gmail.com](mailto:mmm058246@gmail.com) |