

# Разработка сопровождающей документации к оборудованию паротурбинных установок в технологии дополненной реальности

Ю.М. Бродов,  
 зав. каф., д.т.н., проф., [yu.m.brodov@urfu.ru](mailto:yu.m.brodov@urfu.ru),  
 В.И. Брезгин,  
 проф., д.т.н., с.н.с., [vibr@list.ru](mailto:vibr@list.ru),  
 А.А. Вечканов,  
 студ., [137137137\\_942010@mail.ru](mailto:137137137_942010@mail.ru),  
 УрФУ, г. Екатеринбург

В докладе представлены результаты исследования авторов, основными этапами которого являлись анализ перечня сервисной, эксплуатационной, ремонтной документации охладителя воды ОВ-140М для реализации ее в AR-технологии, разработка 3D-моделей деталей и узлов теплообменного аппарата в среде Creo Parametric для использования в технологии дополненной реальности, проработка и согласование с разработчиком сценария инструкции в AR-технологии и разработка инструкции в технологии дополненной реальности с использованием Creo Illustrate и ThingWorx Studio.

В докладе также рассматриваются возможности использования AR-технологии для совершенствования обучения персонала, улучшения качества и повышения производительности при производстве оборудования.

Results of a research of authors which main stages were the analysis of the list of service, operational, repair documentation of the cooler of OV-140M water for her realization in AR technology, development of 3D models of details and knots of the heatexchange device in the environment of Creo Parametric for use in technology of augmented reality, study and coordination with the developer of the scenario of the instruction in AR technology and development of the instruction in technology of augmented reality with use of Creo Illustrate and ThingWorx Studio are presented in the report.

In the report the possibilities of use of AR technology for improvement of training of personnel, improvement of quality and increase in productivity are also considered by production of the equipment.

Цифровая информация, такая как трёхмерные модели САПР или данные, получаемые от датчиков, может быть применена в условиях реального мира. Применение цифровой информации в контексте реального мира создает новое направление сценариев использования. Разработка сервисной, эксплуатационной, ремонтной документации для оборудования паротурбинных установок в технологии дополненной реальности (AR-технологии) (AR – Augmented Reality) позволяет значительно увеличить объем информации, доступной оператору или специалисту по техническому обслуживанию.

Совсем недавно [1] портал InformationWeek привел список Top 10 новых технологий, которые в ближайшей перспективе должны оказать наибольшее влияние на финансовые успехи вендоров, деятельность их канальных партнеров и возможности конечных пользователей в продвижении собственного бизнеса. Авторство перечня принадлежит сообществу Emerging Technology Community, недавно сформированному отраслевой ассоциацией CompTIA.

CompTIA Emerging Technology Community Rating	Technology	% of Channel Companies Experimenting with or Offering
1	IoT Hardware	48
	IoT Software	43
2	Automation	Not included
3	Artificial Intelligence	42
4	Augmented Reality/Virtual Reality	27 (AR only)
5	5G Wireless	20
6	3D Printing	23
7	Drones	23
8	Biometrics	24
9	Blockchain	34
10	Quantum Computing	Not included

рис. 1. TOP 10 новых технологий, которые должны оказать наибольшее внимание на развитие по данным [1]

В рейтинге (рис. 1) мы видим - первая тройка позиций – Интернет вещей, его аппаратное и программное обеспечение, автоматизация и искусственный интеллект. Далее – дополненная реальность и виртуальная

реальность; стандарт сотовой связи 5G; 3D-печать; дроны; биометрическая идентификация; блокчейн и квантовые вычисления. Отрадно видеть, что многие из актуальнейших вопросов современных информационных технологий находятся в фокусе нашей уважаемой конференции. Наше видение вопросов использования технологий Интернета вещей в проектировании и эксплуатации паротурбинного оборудования мы представляли на этой конференции 2 года назад. Сегодня я представлю наши взгляды на использование технологий дополненной реальности в проектировании и эксплуатации паротурбинного оборудования.

В декабре 2017 г. журнал Harvard Business Review опубликовал подборку статей, посвященную дополненной реальности. Хочу остановиться на анализе и некоторых выводах авторов этой подборки о возможностях и практике применения этой технологии на нынешнем этапе.

Между накопленным объемом цифровых данных и физическим миром, где можно их применять, лежит пропасть. Реальность трёхмерна — а данные, подсказывающие нам решения и действия, ограничены двухмерными рамками страниц и экранов. Разрыв между реальным и цифровым миром не дает нам использовать всю доступную информацию, производимую миллиардами умных подключенных устройств (УПУ) по всему миру. Преодолеть этот разрыв (и более полно реализовать человеческий потенциал) обещает дополненная реальность (augmented reality, AR) — набор технологий, добавляющий к физическому миру цифровые данные и изображения. AR возникла недавно, но уже почти стала мейнстримом. По оценкам [2], к 2020 году расходы на AR достигнут \$60 млрд, и эта технология затронет все отрасли экономики и самые разные организации — от университетов до НКО. В ближайшем будущем она изменит процессы образования, принятия решений и взаимодействия. Компании станут иначе обслуживать клиентов, обучать сотрудников, создавать продукты, управлять цепочками создания стоимости и конкурировать.

В наиболее кратком изложении суть проблемы состоит в следующем:

**Проблема:** Физический мир имеет три измерения, а данные, как правило, ограничены двумя измерениями страниц и экранов. Такой разрыв между реальным и цифровым миром мешает извлекать максимум пользы из доступных данных.

**РЕШЕНИЕ:** Дополненная реальность решает эту проблему, добавляя к реальным объектам цифровые данные и изображения. Предоставляя информацию в удобной форме в нужный момент, AR помогает быстрее осмыслить и использовать ее.

**РЕЗУЛЬТАТ:** Передовые организации, такие, как General Electric, клиника Мэйо и BMC США, уже используют AR для совершенствования обучения персонала, улучшения качества и повышения производительности. Объединив сильные стороны людей и машин, AR значительно увеличит извлекаемую ценность [2].

#### ЧТО ТАКОЕ AR?

Отдельным попыткам применения AR уже несколько десятилетий, но лишь недавно появились технологии, позволяющие раскрыть весь ее потенциал. По сути, AR превращает массивы данных и аналитики в изображения или анимацию, накладывая их на реальный мир. Сегодня с AR работают чаще всего через мобильные устройства, но постепенно акценты сместятся на носимые устройства — например, смарт-очки или головные дисплеи. Многие знакомы с развлекательными приложениями AR — фильтрами Snapchat (накладывают при фотографировании или записи видео на смартфоне забавные фильтры) и игрой Pokémon Go (в игре игроки используют мобильные устройства с GPS с возможностью находить, захватывать, сражаться и тренировать виртуальных существ, которых называют покемонами, которые появляются на экране, как если бы они находились в том же реальном месте, как и игрок), но эта технология работает в самых разных ситуациях, как в быту, так и в бизнесе.

Сегодня уже в десятках моделей автомобилей технологии AR проецируют данные о маршруте и аварийных ситуациях непосредственно в поле зрения водителя. Носимые устройства AR для заводских рабочих, отображающие инструкции по сборке и обслуживанию, внедрили уже тысячи предприятий. AR все чаще дополняет или заменяет традиционное обучение.

AR дает жизнь новой системе подачи информации, которая полностью изменит структурирование и передачу данных, а также управление ими. Хотя интернет уже изменил принципы сбора и передачи информации и доступа к ней, эта модель хранения и отображения данных (страницы на плоских экранах) имеет ряд ограничений: она требует от человека мысленно превращать двухмерную информацию в трехмерную. Это не всегда легко — спросите у любого, кто хоть раз пытался починить технику «по бумажке». Накладывая цифровую информацию на реальные объекты, AR позволяет нам обрабатывать физические и цифровые данные одновременно, не тратя силы на их сопоставление. Это помогает быстрее осмыслить информацию, принимать решения и выполнять нужные действия.

Пример — дисплеи AR в автомобилях [3]. С традиционным навигатором водителю приходится смотреть на экран и сопоставлять данные GPS с реальным видом.



рис. 2. Объединение физического мира с цифровым в автомобиле по версии [3]

Чтобы выбрать нужный съезд в плотном потоке, нужно постоянно переводить взгляд с экрана на дорогу. AR проецирует навигационные подсказки прямо на вид через лобовое стекло: не надо отвлекаться от дороги и сложнее ошибиться.

Преимущества AR сводятся к помощи человеку в обработке информации. Мы воспринимаем ее пятью органами чувств — но каждым из них с разной скоростью. Большую часть информации (от 80 до 90%) мы получаем благодаря зрению [2].

Возможность осознавать и обрабатывать информацию ограничена нашими умственными способностями. Потребность в этих способностях в тот или иной момент называется когнитивной нагрузкой. Каждая выполняемая нами ментальная задача снижает способность одновременно выполнять другие задачи.

Когнитивная нагрузка зависит от умственных усилий, необходимых для обработки конкретного типа информации. Например, чтобы прочесть инструкции с экрана компьютера (и выполнить их), нужно приложить большее усилие, чем чтобы прослушать те же инструкции: при слушании мы не расходуем силы на распознавание букв. Когнитивная нагрузка зависит и от когнитивного расстояния, или разницы между форматами представления и применения информации. Если вы ведете машину по навигатору в смартфоне, вам нужно воспринять информацию на экране, удержать ее в рабочей памяти, применить указания к видимой вами физической реальности, а затем действовать согласно этим указаниям — и все это без отрыва от управления. Между информацией на экране и ситуацией ее применения — огромная когнитивная дистанция. Ее преодоление и создает когнитивную нагрузку.

Пословица «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать» отлично иллюстрирует разницу в когнитивном расстоянии при разных способах представления информации. При взгляде на окружающий мир мы почти мгновенно обрабатываем огромный объем данных. Аналогичным образом информационное изображение, наложенное на физический мир и помогающее осмыслить его, сокращает когнитивное расстояние и минимизирует когнитивную нагрузку.

**Визуализация – одно из преимуществ, предоставляемых технологией AR.** Приложения AR действуют подобно рентгеновским лучам, показывая внутреннее устройство объекта. Производитель медтехники AccuVein [4] использует AR для демонстрации на коже расположения сосудов (на основании тепловых признаков). Так намного удобнее выполнять забор крови и другие процедуры. AR более чем втрое повышает вероятность попадания в вену с первой попытки и на 45% сокращает потребность в дополнительной помощи.

Bosch Rexroth [5], поставщик промышленных установок и систем управления, применяет AR для визуализации конструкции и возможностей интеллектуального гидравлического агрегата CytroPac. Клиенты видят трехмерные изображения внутреннего насоса и системы охлаждения, а также сопряжений подсистем устройства.

**Инструкции и указания – еще одна сфера применения дополненной реальности.** AR меняет представление об инструктаже и обучении. Эти важные процессы, от которых зависит производительность, всегда были затратны, трудоемки и неоднородны по результату. Письменные инструкции часто сложны для понимания. Видеоруководства не интерактивны и не адаптируются к задачам обучения конкретных работников. Персональное обучение стоит дорого и требует личного присутствия (часто неоднократного) обучающихся и преподавателя. А если в момент инструктажа нужное оборудование недоступно, людям будет непросто применить знания к реальной ситуации.

AR дает наглядные пошаговые инструкции на месте, в реальное время по сборке устройств, управлению аппаратурой, выборке продукции на складе. На смену сложным двухмерным чертежам приходят интерактивные трехмерные голограммы: практически ничего не нужно додумывать или интерпретировать.

Обучение на основе AR в Boeing [6] уже заметно повысило эффективность и качество производства. В рамках эксперимента Boeing использовала AR для обучения стажеров 50-этапной сборке секции крыла самолета из 30 частей. Стажеры, пользовавшиеся AR, справились с работой на 35% быстрее, чем те, кто опирался на традиционные чертежи. Число стажеров с небольшим опытом или без него, успешно выполнивших все операции с первой попытки, выросло на 90% [2].

Поставщик инженерных систем Lee Company [7] использует AR для помощи техникам в установке и ремонте оборудования. Через устройство AR удаленный эксперт видит то же, что и техник, дает ему указания и даже может добавить в его поле зрения визуальные инструкции. Такая поддержка существенно повысила эффективность ремонтников. Сократив число повторных вызовов, Lee Company сэкономила более \$500 на техника в месяц (на оплате труда и проезда). Каждый доллар, вложенный в AR, приносит ей \$20.

**Взаимодействие – технология дополненной реальности меняет пользовательский интерфейс.** До недавнего времени люди использовали лишь физические средства управления: переключатели, кнопки, сенсорные экраны. С появлением УПУ (умных подключенных устройств) их все чаще заменяют мобильные приложения.

AR выводит пользовательский интерфейс на новый уровень. Виртуальная панель управления проецируется непосредственно на продукт, и пользователь взаимодействует с ним с помощью шлема или очков, жестами и голосом. Близок день, когда человек в смарт-очках сможет просто взглянуть или указать на нужный объект, чтобы активировать интерфейс. Например, рабочий сможет, пройдя вдоль производственной линии, проследить за работой машин и скорректировать ее без какого-либо физического контакта.

Интерактивные возможности AR пока слабо используются в коммерческих продуктах, но потенциал их безграничен. Reality Editor, приложение AR, созданное группой Fluid Interfaces в медиалаборатории MIT [8], — иллюстрация динамичного развития этой технологии. С его помощью можно дополнить интерактивной AR любое УПУ. Направив устройство AR на УПУ, можно «увидеть» его цифровые интерфейсы и программируемые возможности и связать их с жестами, голосовыми командами — и даже с другим УПУ. Например, Reality Editor позволяет увидеть настройки цвета и интенсивности умной лампы и настроить голосовые команды вроде «ярче» или «настроение». А можно привязать настройки лампы к кнопкам на переключателе и разместить его в любом удобном месте.

Использование цифровой модели изделия в качестве основы для создания инструкции в технологии дополненной реальности демонстрирует рис.3. В нашем университете разработана методика проектирования пароструйных эжекторов для паровых турбин и технология их изготовления. Вкратце расскажу для чего используется это оборудование. В паровую турбину поступает перегретый водяной пар с температурой 550 градусов Цельсия и давлением 23,5 МПа (240 атмосфер). В турбине потенциальная энергия пара преобразуется в кинетическую энергию, заставляющую вращать генератор, который вырабатывает электрический ток. После последней ступени паровой турбины температура пара составляет 25-30 градусов Цельсия, давление – 6,5 кПа (~0,065 атм). Давление в

конденсаторе, куда пар поступает после последней ступени турбины существенно ниже атмосферного. По разным причинам в конструкции турбины и конденсатора имеются неплотности, через которые подсасывается воздух, существенно снижая эффективность работы паротурбинной установки. Пароструйный эжектор удаляет излишки воздуха и других неконденсирующихся газов из конденсатора, тем самым обеспечивает эффективность работы оборудования на требуемом уровне. Основным элементом пароструйного эжектора является собственно эжектор, главными элементами которого являются сопло и диффузор (рис.3). Расстояние между соплом и диффузором (на рис.3 равное 28 мм) – определяет производительность аппарата. В зависимости от расхода, давления и температуры пара и неконденсирующихся газов величину зазора необходимо менять. На слайде справа – анимированная инструкция по изменению величины зазора, выполненная в Creo Illustrate, которая была использована при создании AR-инструкции.

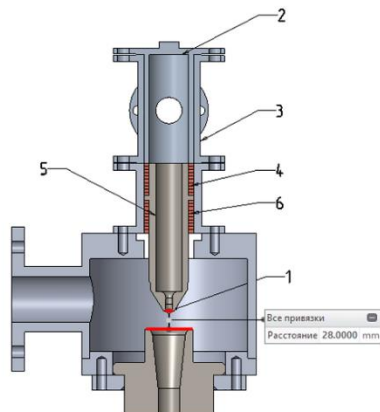


рис. 3. Основной элемент эжектора: 1 – расстояние между соплом и диффузором; 2 – стакан; 3 – корпус подвода пара; 4 – блок прокладок верхней части сопла; 5 – сопло; 6 – блок прокладок нижней части сопла

Разрабатываемые для эжектора инструкции по его ремонту и эксплуатации, выполненные в технологии дополненной реальности, планируется включать в комплект поставки оборудования заказчику. (Следует отметить, что былые надежды авторов о скором и широком внедрении инструкций по ремонту, техническому обслуживанию оборудования паротурбинных установок и других услуг сервиса, озвученные ими в [8], не оправдались.)

Практическое использование инструкций, выполненных в AR-технологии, затруднено по ряду причин:

1. Использование смартфона в качестве инструмента AR оправдано только с точки зрения доступности. В остальном это средство – собрание недостатков: размер смартфона не позволяет продемонстрировать какую-либо реально полезную инструкцию.
2. Дрожание смартфона в руках осложняет просмотр инструкции в технологии AR еще больше. Для использования смартфона в качестве инструмента AR необходимы либо навыки профессионального кино- или телеоператора, или его устойчивое крепление.
3. Управление контентом с помощью видеокнопок на экране смартфона еще больше осложняет просмотр инструкции, а также не дает возможности использования доступных VR BOX (рис. 4, а).
4. Использование смартфона в качестве инструмента AR не оставляет свободными руки пользователя. Использование VR BOX в режиме AR (рис. 4, б) в какой-то мере решает эту проблему, однако невозможность в этом режиме управления контентом создает новые трудности. Кроме того, несмотря на уверения производителя, просмотр видео контента одновременно двумя глазами в этом режиме чрезвычайно неудобен.

Таким образом, опыт разработки инструкций по оборудованию паротурбинных установок показан, что до тех пор, пока не появятся дешевые и эргономичные инструментальные средства для AR-технологий, надежд на их широкое использование в нашей промышленности немного. Наилучший результат, по оценкам [6, 7] дает использование очков дополненной реальности. Авторы [9] формулируют аналогичный вывод, оптимистично рассматривая гонку ведущих производителей «умных» очков в США (см. рис. 4) и утверждая, что «...тот, кто победит в очковых войнах, будет контролировать технологию, которая преобразует взаимодействие людей с цифровыми и физическими мирами».

#### Smart Glasses: The Race Is On

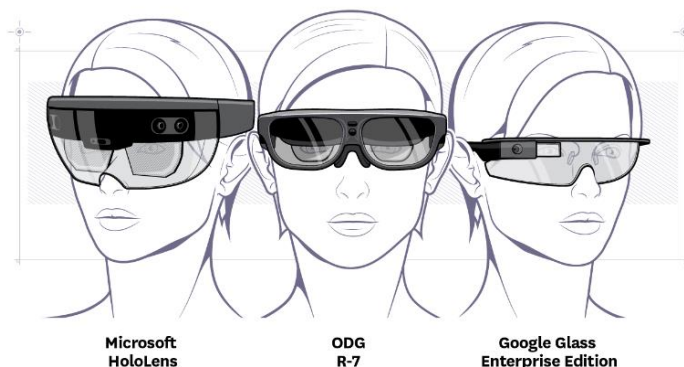


ILLUSTRATION BY CLINT FORD  
FROM "THE BATTLE OF THE SMART GLASSES,"  
BY MICHAEL E. PORTER AND JAMES E. HEPPELMANN, NOVEMBER-DECEMBER 2017

© HBR.ORG

рис. 4. Умные очки: гонка продолжается [8]

Однако в России такие инструменты AR-технологий не производятся и не поставляются, а те, что можно встретить не могут быть применены в нашей промышленности из-за своей стоимости. Поэтому разработанные с участием авторов различные анимированные инструкции, описывающие конструкцию оборудования паротурбинных установок, которые могли бы быть реализованы в технологии дополненной реальности (в качестве примера см. рис.5), ждут своего часа и используются пока только в электронных учебных пособиях [10].

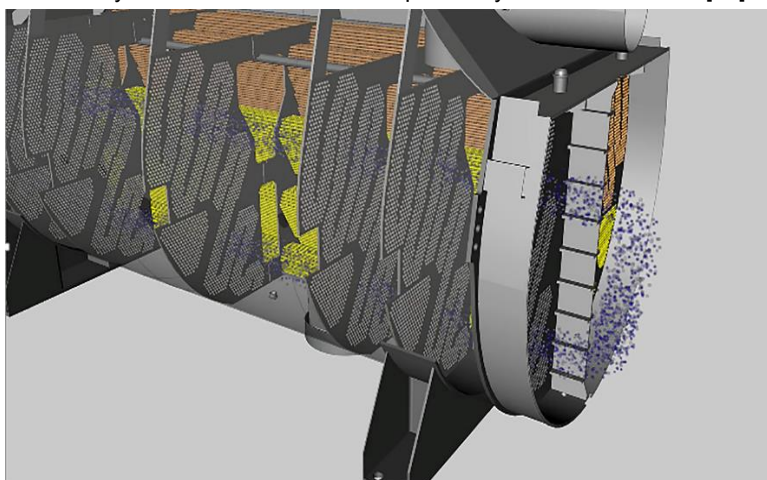


рис. 5. Работа конденсатора. Фрагмент анимированной иллюстрации электронного учебного пособия [9]

### Литература

1. Top 10 новых технологий по версии CompTIA / Александр Журавлев, 08 октября 2018 г. / <https://www.itweek.ru/business/article/detail.php?ID=203682>
2. Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy / Michael E. Porter and James E. Heppelman / Harvard Business Review. November-December 2017
3. Руководство по дополненной реальности / Майкл Портер и Джеймс Хеппелманн /Harvard Business Review – Россия. 4 декабря 2017
4. <https://www.accuvein.com/home/>
5. <https://www.boschrexroth.com/en/xc/>
6. <http://www.boeing.com/>
7. <https://www.leecompany.com/>
8. Промышленный интернет вещей (IIoT) и оборудование паротурбинных установок / В.И. Брезгин, А.А. Вечканов / Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM 2016). Труды XVI-ой международной молодежной конференции CAD/CAM/PDM 2016. Под ред. А.В. Толока М.: ООО «Аналитик». 2016. С.188-191.
9. The Battle of the Smart Glasses / Michael E. Porter and James E. Heppelman / Harvard Business Review. November-December 2017
10. Теплообменники энергетических установок. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. Под ред. Ю.М. Бродова / Статус: ЭОР УрФУ /Подтип: мультимедийный интерактивный ресурс. Создан 16.12.2014/ <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/7639>