

## **Технологии дополненной реальности как новый источник конкурентных преимуществ продукции машиностроения**

**А.С. Зуев<sup>@</sup>,  
А.Н. Зуева,  
Д.А. Леонов**

*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия*

*<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: zuev\_a@mirea.ru*

Анализируются возможности формирования дополнительных конкурентных преимуществ продукции машиностроения, открывающихся в результате применения технологий дополненной реальности для интерактивного информационного обеспечения и информационной поддержки задач сборки, настройки, обслуживания, эксплуатации и ремонта как самих изделий, так и задействованных в перечисленных процессах единиц оборудования и компонентов производственных систем. Приводится краткий обзор имеющихся на рынке устройств дополненной реальности, которые могут рассматриваться в качестве прототипов программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих информационную поддержку технического персонала в процессе выполнения его трудовых функций. Рассматриваются перспективы внедрения в этапы жизненного цикла, в процессы производства, обслуживания и эксплуатации продукции и оборудования машиностроения, специализированных приложений, обеспечивающих получение оператором и визуализацию необходимого ему вспомогательного контента в режиме реального времени с применением устройств дополненной реальности. Анализ требующихся функциональных возможностей и сценариев применения данных приложений обосновывает целесообразность их реализации не в виде обособленных программных продуктов, ориентированных на отдельные единицы продукции и оборудования, а в контексте единого информационного сервиса поддержки производственного процесса, фактически позволяющего сформировать новый инструмент производственной инженерии, соответствующий концепции четвертой технологической революции, – справочно-информационные системы дополненной реальности, концепция применения которых фактически универсальна для всех отраслей и потребительского сектора национальной экономики. Выполняется анализ основных ограничений широкого применения справочно-информационных систем, основанных на технологиях дополненной реальности, и обосновывается значительное ослабление их влияния в среднесрочной перспективе, обусловленное, в том числе, возможностями реализации новых архитектурных решений, обеспечиваемых развитием технологий беспроводной передачи

информации (стандарт 5G) и стандартов сжатия и передачи видеoinформации (MPEG-I). На основании анализа изложенного материала обосновываются целесообразность внедрения технологий дополненной реальности в этапы жизненного цикла продукции и обслуживания машиностроения, новые возможности формирования их дополнительных конкурентных преимуществ, а также актуальность вопросов обеспечения информационной безопасности соответствующих справочно-информационных систем.

**Ключевые слова:** машиностроение, конкурентоспособность, дополненная реальность, информационное обеспечение, информационная поддержка.

**Для цитирования:** Зуев А.С., Зуева А.Н., Леонов Д.А. Технологии дополненной реальности как новый источник конкурентных преимуществ продукции машиностроения. *Российский технологический журнал*. 2020;8(1):9-20. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-1-9-20>

## **Augmented reality technology as a new source of competitive strengths in engineering products**

**Andrey S. Zuev<sup>@</sup>,  
Anna N. Zueva,  
Dmitriy A. Leonov**

*MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia*

*<sup>@Corresponding author, e-mail: zuev\_a@mirea.ru</sup>*

The article analyzes opportunities for obtaining additional competitive strengths in engineering products due to the use of augmented reality technology for interactive information provision and support in terms of assembly, operation and maintenance for the products themselves as well as machinery units and production system components employed in the processes listed. The article also provides a short overview of equipment available on the market that can be viewed as a prototype for hardware and software complexes that provide informational support for technical personnel while the latter performs its job functions. It covers prospects of implementing informational systems that provide the operator with visualized supporting content online through the use of AR technology into the life cycle stages, processes of production, maintenance and operation of products and machinery equipment, as well as specialized applications. It also analyzes the necessary functional options and scenarios of using these applications, thus explaining the point of implementing them not as separate software products oriented on separate product units and equipment, but in the context of a unified information service of support for the production process, basically allowing the formation of a new production engineering instrument that goes along with the concept of the fourth technological revolution - reference-informational AR systems, the concept of use for which is universal to all industries and the consumer sector of the national economy. It analyzes the main limitations of the wide use of informational systems based on AR technology and gives grounds for its lessening midterm influence, based on, including but not limited to, the options for implementing new architectural solutions that are supported by the developing wireless data transfer technology (5G standard) as well as video compressing and transfer standards (MPEG-I). Based on the analysis of materials provided, rationale for implementing AR technology into the stages of machinery production and equipment life cycle is given, as well as new opportunities for obtaining their additional competitive strengths and relevance of information security of the corresponding reference-informational systems based on AR technology.

**Keywords:** machinery, competitiveness, augmented reality, information provision, information support.

**For citation:** Zuev A.S., Zueva A.N., Leonov D.A. Augmented reality technology as a new source of competitive strengths in engineering products. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(1):9-20 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-1-9-20>

## Введение

Конкуренция является одним из основных механизмов рыночной экономики, обеспечивающих состязательность участников рынка за внимание покупателей и возможности реализации продукции на наиболее выгодных условиях, за захват и удержание определенной доли рынка, за получение прибыли и доступа к ресурсам [1]. Она побуждает товаропроизводителя совершенствовать продукцию, повышать ее качество и развивать потребительские свойства. Конкурентоспособность продукции – это ее способность быть привлекательной по сравнению с аналогами благодаря лучшему соответствию характеристик потребительским оценкам и требованиям рынка. При этом появление и развитие новых технологий открывает дополнительные возможности ведения конкурентной борьбы и обеспечения конкурентоспособности продукции. В результате для всех отраслей национальной экономики актуальна задача анализа возможностей применения и будущего влияния новых технологий для обеспечения конкурентоспособности продукции.

В настоящей статье анализируются возможности применения технологий дополненной реальности [2] для формирования дополнительных конкурентных преимуществ продукции машиностроения – передовой комплексной наукоемкой отрасли, объективно характеризующей уровень технологического развития государства и обеспечивающей формирование высокой добавленной стоимости широкого спектра продукции (изделий) отраслевых подгрупп [3, 4].

Становление пятого технологического уклада и переход к шестому [5] в условиях глобальной конкуренции требуют от предприятий машиностроения применения более эффективных подходов к организации процессов сборки, настройки, обслуживания, эксплуатации и ремонта как самих изделий, так и задействованных в перечисленных процессах единиц оборудования и компонентов производственных систем. В разработке, освоении и внедрении данных новых подходов заключается одно из направлений подготовки к четвертой промышленной революции [6].

В качестве источника дополнительных конкурентных преимуществ продукции машиностроения авторами рассматривается контент дополненной реальности – новый способ информационного обеспечения, позволяющий реализовать интерактивную информационную поддержку этапов жизненного цикла изделий, оборудования и компонентов производственных систем.

Дополнительными обеспечиваемыми конкурентными преимуществами, приводящими к минимизации себестоимости продукции, предполагаются снижение требований к уровню квалификации и численности технического персонала, а также сокращение затрат времени на настройку, обслуживание и ремонт как самой продукции машиностроения, так и задействованных в процессе ее изготовления единиц оборудования и компонентов производственных систем.

В качестве механизма, реализующего информационное обеспечение технического персонала, рассматриваются специализированные справочно-информационные системы, обеспечивающие интерактивное получение требуемого оператору вспомогательного

контента дополненной реальности с применением специальных оконечных устройств и в соответствии с текущими выполняемыми им операциями над конкретным объектом (изделием, инструментом, единицей оборудования и т.п.).

Анализ современного уровня и перспектив развития характеристик программно-аппаратных комплексов, требующихся для справочно-информационных систем, основанных на технологиях дополненной реальности, обосновывает возможности их широкого внедрения в среднесрочной перспективе.

### **Обзор технологий дополненной реальности**

Технологии дополненной реальности относятся к сфере человеко-компьютерного взаимодействия [7] – полидисциплинарного направления исследований, охватывающего изучение, развитие и разработку методов взаимодействия человека и программно-аппаратных систем. Современные концепции связи реальности (окружающего мира) и виртуальности (смоделированного с помощью компьютерных технологий трехмерного окружения) основаны на работах П. Милгрэма, Р. Азума и С. Манна.

В 1994 году Пол Милгрэм презентовал континуум реальности-виртуальности (reality-virtuality continuum) [8], в котором определяет дополненную реальность как результат дополнения окружающего мира виртуальными объектами. Рональд Азума дополнил данное определение по результатам исследований в 1997 и 2001 годах и определил дополненную реальность как систему с тремя характеристиками [9, 10]: 1) комбинация реальности и виртуальности; 2) интерактивность и функционирование в реальном времени; 3) визуализация в трехмерном пространстве. В 2002 году Стив Манн добавил к континууму Милгрэма вторую ось для отражения разных методов изменения окружения. Предложенный им двумерный континуум дал дополнительно понятия опосредованной реальности и опосредованной виртуальности [11]. П. Милгрэм, Р. Азума и С. Манн создали теоретический базис для технологий комбинирования реальности и виртуальности. Однако их исследования проводились в начале 2000-х гг., и с тех пор рынок информационных технологий не только адаптировал такие понятия как дополненная и смешанная реальность, но и значительно расширился в данном направлении. Возникли новые технологии, программные и аппаратные средства, делающие разработку решений в области дополненной реальности доступной как для юридических, так и для физических лиц. В результате, выполненные 15 лет назад теоретические изыскания и университетские прототипы воплотились в новый сегмент рынка информационных технологий [12], полностью соответствующий концепции цифровой экономики [13]. На данный момент рынок устройств дополненной реальности представлен в основном устройствами Alphabet, Microsoft и Epson.

*Alphabet Inc.* – холдинг, в который в 2015 г. была преобразована *Google Inc.* На рынке были представлены очки дополненной реальности GoogleGlass – первая версия (для разработчиков) была выпущена в 2013 году, на данный момент для некоммерческих клиентов доступна версия GoogleGlass 3.0.

Корпорация *Microsoft* в 2012 году анонсировала очки смешанной реальности HoloLens, которые стали доступны на рынке в 2016 году. Корпорация активно поддерживает производителей носимых гарнитур, интегрирующих свою продукцию в инфраструктуру WindowsMixedReality, например HP, *Lenovo*, Acer.

Корпорация *Epson* в области коммерческой дополненной реальности позиционирует Moverio Pro BT-2200 и BT-2000, а для частного потребителя - Moverio BT-350 и BT-35E, также можно отметить присутствующие на рынке устройства VUZIX (blade smart glasses) и ODG (R-7).

На рис. 1 в общем виде представлен универсальный подход к реализации технологий дополненной реальности посредством носимой гарнитуры:

- фронтальная камера формирует видеопоток, аналогичный полю зрения пользователя;
- в составе кадров видеопотока устройство выявляет заранее внесенные в базу данных маркеры – графические элементы, соответствующие визуальному восприятию конкретных объектов окружающей обстановки;
- формируется видеопоток, объединяющий поле зрения пользователя и контент дополненной реальности, соответствующий находящимся в нем объектам;
- полученный видеопоток проецируется на экран устройства и заменяет/дополняет собой поле зрения пользователя.

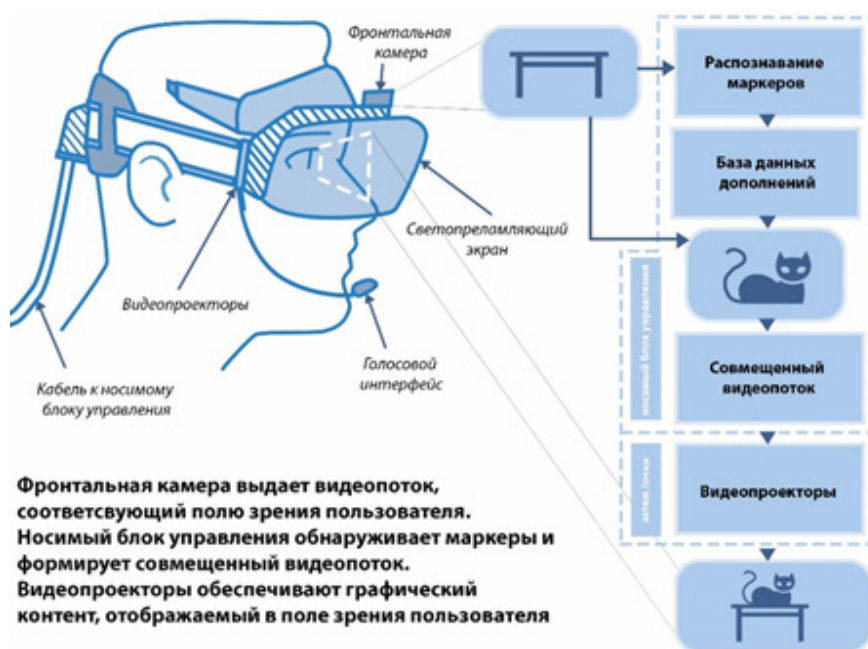


Рис. 1. Иллюстрация принципов реализации дополненной реальности.

### Контент дополненной реальности для продукции и оборудования машиностроения

Рассмотрим возможности адаптации описанного выше подхода к реализации технологий дополненной реальности посредством носимой гарнитуры для интерактивного информационного обеспечения и информационной поддержки задач сборки, настройки, обслуживания, эксплуатации и ремонта как самих изделий машиностроения, так и задействованных в перечисленных процессах единиц оборудования и компонентов производственных систем. Для ассортиментных групп, а также конкретных единиц продукции и оборудования (объектов) требуется разработка специализированных приложений дополненной реальности, в которых:

- для каждого объекта определен состав выполняемых с ним задач (сборка, замена комплектующих, настройка, эксплуатация и т.п.);
- для каждой задачи сформирована последовательность выполняемых оператором операций (очередность монтажа комплектующих при сборке; порядок их демонтажа, установки и крепления при замене; последовательность ввода параметров при настройке; план выполнения действий при эксплуатации и т.д.);



- для каждой операции задан состав эталонных маркеров, соответствующих корректному визуальному образу задействованных в ней элементов объекта (например, требующийся вид креплений в месте установки комплектующего);
- при выполнении каждой операции анализируется соответствие текущего визуального образа элементов объекта заданному составу эталонных маркеров (например, определяется, установлены ли все элементы крепления комплектующего);
- непрерывный контроль наличия в поле зрения оператора корректного состава эталонных маркеров обеспечивает корректность каждой операции, четкая последовательность операций приводит к выполнению любой задачи, которую оператор может выбрать для конкретного объекта.

Реализация перечисленных выше функциональных возможностей не в рамках обособленных специализированных приложений дополненной реальности, ориентированных на отдельные единицы продукции и оборудования, а в контексте единого информационного сервиса поддержки производственного процесса фактически позволит сформировать новый инструмент производственной (промышленной) инженерии, соответствующий концепции четвертой технологической революции, – справочно-информационные системы дополненной реальности.

Пример применения технологии дополненной реальности для выполнения операций с продукцией и технологическим оборудованием машиностроения представлен на рис. 2: слева приведен доступный стороннему наблюдателю вид процесса работы оператора, а справа – доступный оператору видеопоток, объединяющий реальную окружающую обстановку и контент дополненной реальности, как привязанный к ее элементам посредством маркеров, так и несущий справочную текстовую информацию в соответствии с текущим выполняемым оператором действием.



**Рис. 2.** Пример применения технологий дополненной реальности  
в технологическом процессе машиностроения.

Контент дополненной реальности является новым источником повышения эффективности взаимодействия человека со сложными техническими объектами. В традиционном процессе такого взаимодействия не только существует возможность ошибки, способной нанести материальный ущерб, но и расходуется время оператора на принятие решений о последовательности выполняемых действий. Комбинируя возможности технологий дополненной реальности с содержанием хранилищ данных различных информационных систем, можно значительно повысить эффективность технического персонала – снизить требования к уровню его квалификации и численности, а также сократить затраты времени на выполнение любых видов работ.

Рост номенклатуры и технической сложности как изделий, так и оборудования, приводит к росту численности, повышению требований к квалификации и расширению специализации технического персонала как у производителей, так и у потребителей продукции машиностроения. Следствием этого является рост затрат на обучение и оплату труда персонала, обуславливающий увеличение себестоимости производства и эксплуатации изделий.

Новые возможности технологий дополненной реальности по визуализации информации и предоставлению инструкций в режиме реального времени позволяют решить проблему увеличения численности и расширения специализации технического персонала, усовершенствовать реализуемые бизнес-процессы и повлиять на конкурентоспособность изделий (продукции) машиностроения. В контексте применения технологий дополненной реальности задачи сборки, настройки, обслуживания, эксплуатации и ремонта конкретного объекта содержательно представляют собой одну задачу – организацию корректной последовательности оценки соответствия визуального вида элементов объекта заданному составу эталонных маркеров. Поэтому технологии дополненной реальности могут применяться на всех этапах жизненного цикла изделия и оборудования машиностроения, а для их эффективного внедрения в соответствующие процессы потребуются разработка специализированных справочно-информационных систем. Заметим также, что концепция применения рассматриваемых систем фактически будет универсальной – масштабируемой на другие отрасли (например, добывающую и обрабатывающую) и потребительский сектор (например, настройка и эксплуатация бытовой техники) национальной экономики.

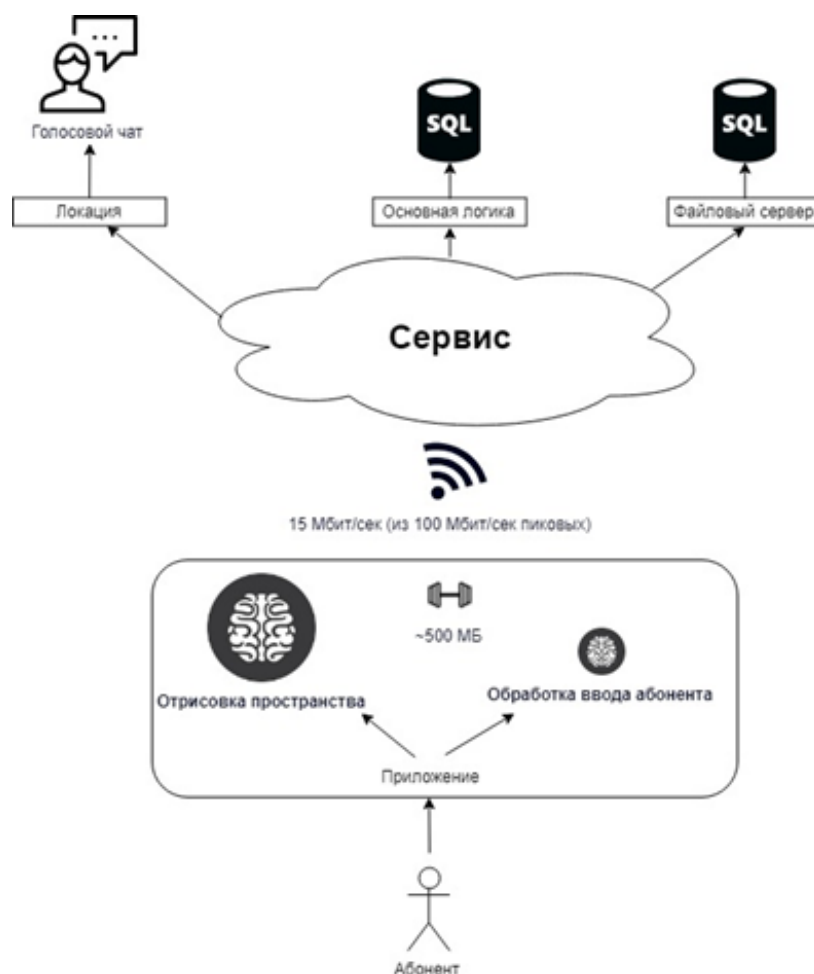
### **Справочно-информационные системы дополненной реальности**

На данный момент основными способами распространения справочной информации о продукции и оборудовании машиностроения являются поставка потребителю печатной документации или электронных носителей и размещение контента на сайте производителя или на вспомогательных информационных ресурсах. Недостатком при этом является ограниченность данных способов в части доступных механизмов доведения информации до потребителей. Визуализация справочной информации об объекте возможна только без интерактивной привязки к выполняемым с ним действиям и с использованием устройств, требующих переключения внимания оператора между ними и объектом (распечатки, планшеты, смартфоны, ноутбуки). Более того, перед началом и в процессе работы оператору требуется изучать, анализировать и запоминать справочную информацию, сверяться с ней, отвлекаясь от самого процесса. Основными недостатками обычных способов работы со справочной информацией являются отсутствие наглядности и интерактивной привязки к выполняемым действиям, необходимость постоянного переключения внимания и отсутствие возможности выполнять трудовые функции параллельно с изучением справочного материала. Соответственно, целью развития способов распространения и получения рассматриваемой справочной информации о продукции и оборудовании машиностроения может являться создание специализированных систем доведения до пользователей справочного контента, не имеющих указанных выше недостатков. Достижение данной цели фактически приведет к появлению нового вида справочно-информационных систем, основанных на технологиях дополненной реальности (справочно-информационных систем дополненной реальности). Данные системы будут иметь широкий спектр областей применения:

- обеспечение виртуального присутствия экспертов в месте проведения работ, приводящее к сокращению необходимого количества сотрудников и реализации нового уровня услуг технической поддержки;
- предоставление техникам, работающим с оборудованием «в полевых условиях», интерактивной связи с экспертными группами;
- проецирование чертежей и схем на реальные объекты для сравнения виртуальной модели и реального объекта в режиме реального времени;
- новые подходы к организации обучения и повышения квалификации сотрудников.

На рис. 3 представлен общий вид архитектуры справочно-информационной системы дополненной реальности, соответствующий современным характеристикам требующихся программно-аппаратных комплексов. Основными ограничениями внедрения данных систем в настоящее время являются высокие требования к:

- характеристикам камер, используемым для получения видеопотока, аналогичного полю зрения пользователя, с высоким разрешением;
- вычислительным мощностям оконечных устройств, обусловленным необходимостью распознавания объектов методами компьютерного зрения в видеопотоке и его дополнения справочным контентом в режиме реального времени;
- скорости беспроводной передачи больших объемов видеоконтента.



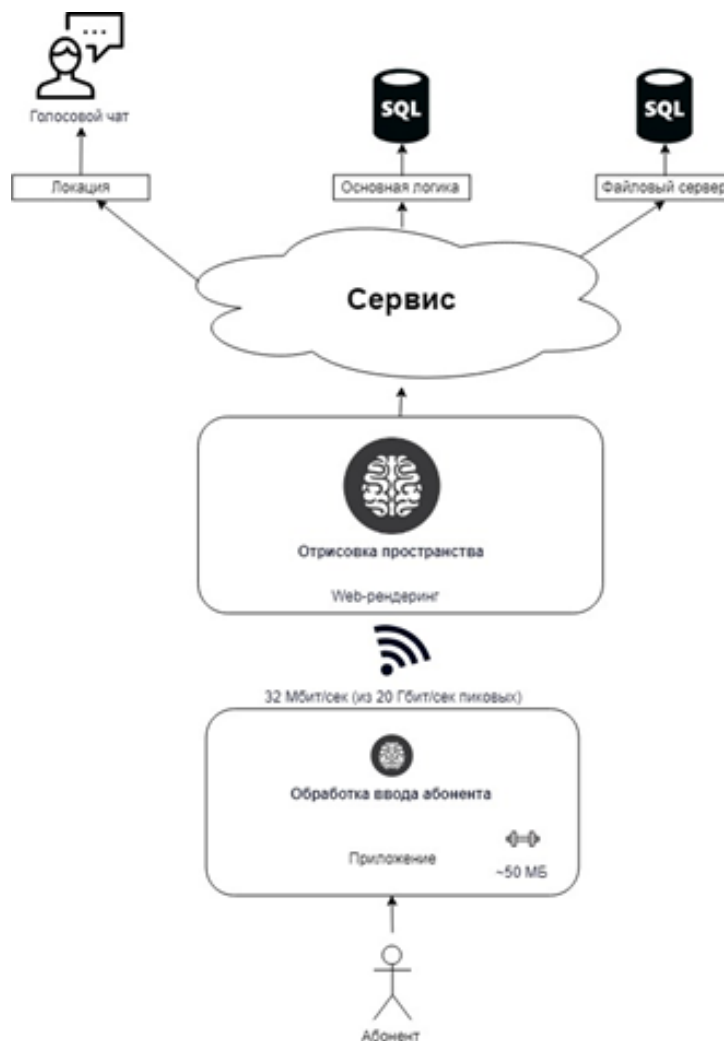
**Рис. 3.** Общий вид архитектуры справочно-информационной системы дополненной реальности в настоящее время.



По мнению авторов, перечисленные ограничения перестанут иметь решающее значение уже в среднесрочной перспективе. Внедрение к 2022 году стандартов связи 5G [14] (и дальнейшее развитие технологий беспроводной передачи информации), а также новых стандартов сжатия и передачи видеоинформации (в том числе развитие иммерсивных технологий, реализуемых в частности в разрабатываемом стандарте MPEG-I [15, 16]) позволит перейти к архитектуре справочно-информационных систем дополненной реальности, в которой:

- на конечном устройстве выполняются съемка и передача исходного, а также получение и воспроизведение итогового видеопотоков;
- на специальном сервере выполняется распознавание маркеров в составе исходного видеопотока, их дополнение контентом и формирование итогового видеопотока;
- аппаратура сети связи позволяет передавать видеопотоки в режиме реального времени между конечным устройством и сервером.

На рис. 4 представлен общий вид архитектуры справочно-информационной системы дополненной реальности с учетом описанных выше среднесрочных перспектив развития характеристик требующихся программно-аппаратных комплексов.



**Рис. 4.** Общий вид архитектуры справочно-информационной системы дополненной реальности в среднесрочной перспективе.

### **Выводы**

В условиях транснационального рынка, а также быстрого обновления и внедрения новых технологий, борьба за потребителей вынуждает производителей совершенствовать формы и методы конкурентной борьбы, разрабатывать новые механизмы управления конкурентоспособностью товаров, что особенно актуально для машиностроения – отрасли, формирующей высокую добавленную стоимость в структуре национальной экономики технологически развитых государств.

Одним из новых источников дополнительных конкурентных преимуществ машиностроения будет являться контент дополненной реальности – новый способ информационного обеспечения задач сборки, настройки, обслуживания, эксплуатации и ремонта как самих изделий, так и задействованных в перечисленных процессах единиц оборудования и компонентов производственных систем. На этапах жизненного цикла продукции и оборудования получают применение справочно-информационные системы дополненной реальности – новый механизм реализации интерактивной информационной поддержки технического персонала.

Применение технологий дополненной реальности позволит повысить конкурентоспособность продукции машиностроения за счет сокращения себестоимости ее производства и эксплуатации, обеспеченного сокращением затрат на обучение и оплату труда технического персонала как у производителя, так и у потребителя.

Развитие справочно-информационных систем дополненной реальности в долгосрочной перспективе приведет к появлению информационных сервисов, обеспечивающих получение справочного контента о конкретных изделиях в режиме реального времени различными категориями абонентов (производственными рабочими, специалистами технических сервисов, продавцами-консультантами, потенциальными потребителями, владельцами и т.п.). Таким образом, находящиеся в настоящее время в начале своего жизненного цикла технологии дополненной реальности станут значительной движущей силой технического прогресса и неотъемлемым компонентом будущей цифровой экономики.

Вместе с тем приобретают высокую актуальность вопросы обеспечения информационной безопасности справочно-информационных систем дополненной реальности, в том числе аспекты защиты предоставляемого ими информационного контента. Нарушение целостности и аутентичности справочной информации (как неумышленное, так и преднамеренное) будет наносить материальный ущерб, проявляющийся в браке продукции, повышенном износе и выходе из строя оборудования, поломках элементов инфраструктуры предприятия, травматизме персонала и т.д.

С учетом специфики архитектуры и программно-аппаратных средств систем как дополненной, так смешанной и виртуальной реальностей, вопросы обеспечения их информационной безопасности могут быть выделены в отдельное направление исследований, формирование которого целесообразно уже в краткосрочной перспективе – с целью обеспечения возможностей оперативного внедрения и эффективного применения получаемых результатов в деятельности отечественных промышленных предприятий.

### **Литература:**

1. Филькин М.Е., Чернавский С.Я. Моделирование и анализ уровня конкурентности на розничных рынках. М.: Издательство Центрального Экономико-Математического Института, 2018. 102 с. ISBN: 978-5-8211-0767-1
2. Папагианнис Х. Дополненная реальность. Все, что вы хотели узнать о технологии будущего. М.: Эксмо, 2019. 288 с. ISBN: 978-5-04-089971-5

3. Фролов В.К. Избранные труды. Т. 2. Машиноведение и машиностроение. М.: Наука, 2007. 523 с. ISBN 978-5-02-035785-3
4. Карсунцева О.В. Производственный потенциал предприятий машиностроения: оценка, динамика, резервы повышения. М.: Инфра-М, 2014. 211 с. ISBN 978-5-16-009482-3
5. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. М.: Экономика, 2010. 256 с. ISBN 978-5-282-03056-3
6. Шваб К. Четвертая промышленная революция: пер. с англ. М.: Эксмо, 2019. 209 с.
7. Preece J., Rogers Y., Sharp H. Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction. Fourth ed. New York: Wiley, 2015. 584 p.
8. Milgram P., Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 1994;E77-D(12):1321-1329.
9. Azuma R.T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997;6(4):355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
10. Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2001;21(6):34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
11. Mann S., Barfield W. Introduction to Mediated Reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2003;15(2):205-208. [https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1502\\_1](https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1502_1)
12. Бретт К. Эпоха дополненной реальности. М.: Олимп-бизнес, 2018. 527 с. ISBN: 978-5-9693-0374-4
13. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Цифровая экономика: мифы, реальность, перспектива. М.: РАН, 2017. 64 с. ISBN: 978-5-906906-04-5
14. Recommendation ITU-R M.2083-0. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Geneva, September, 2015. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf).
15. Turban L., Urban F., Guillotel P. Extrafoveal Video Extension for an Immersive Viewing Experience. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2017;23(5):1520-1533. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2527649>
16. Domański M., Stankiewicz O., Wegner K., Grajek T. Immersive visual media – MPEG-I: 360 video, virtual navigation and beyond. In: Proc. of 24th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2017). Poznań, Poland, may, 2017. <https://www.doi.org/10.1109/IWSSIP.2017.7965623>

## References:

1. Fil'kin M.E., Chernavskii S.Ya. *Modelirovaniye i analiz urovnya konkurentnosti na roznichnykh rynkakh* (Modeling and analysis of the level of competitiveness in retail markets). Moscow: Izdatel'stvo Tsentral'nogo Ekonomiko-Matematicheskogo Instituta; 2018. 102 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-8211-0767-1
2. Papagiannis Kh. *Dopolnennaya real'nost'. T. 2. Vse, chto vy khoteli uznat' o tekhnologii budushchego* (Augmented reality. V. 2. Everything you wanted to know about future technology). Moscow: Eksmo; 2019. 288 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-04-089971-5
3. Frolov V.K. *Izbrannyye trudy T. 2. Mashinovedeniye i mashinostroeniye* (Selected Works. V. 2. Engineering and mechanical engineering). Moscow: Nauka; 2007. 523 p. (in Russ.). ISBN 978-5-02-035785-3
4. Karsuntseva O.V. *Proizvodstvennyi potentsial predpriyatii mashinostroeniya: otsenka, dinamika, rezervy povysheniya* (Production potential of machine-building enterprises: assessment, dynamics, reserves of increase). Moscow: Infra-M; 2014. 211 p. (in Russ.). ISBN 978-5-16-009482-3
5. Glaz'ev S.Yu. *Strategiya operezhayushchego razvitiya Rossii v usloviyakh global'nogo krizisa* (The strategy of accelerated development of Russia in the context of the global crisis). Moscow: Ekonomika; 2010. 256 p. (in Russ.). ISBN 978-5-282-03056-3
6. Shvab K. *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya* (Fourth Industrial Revolution): trans. from Engl. Moscow: Eksmo; 2010. 256 p. (in Russ.).
7. Preece J, Rogers Y, Sharp H. Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction. 4th Edition. NJ: Wiley; 2015. 584 p.
8. Milgram P, Kishino F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 1994; E77-D(12):1321-1329.
9. Azuma RT. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997;6(4):355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
10. Azuma R, Baillot Y, Behringer R, Feiner S, Julier S, MacIntyre B. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2001;21(6):34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
11. Mann S., Barfield W. Introduction to Mediated Reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2003;15(2):205-8. [https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1502\\_1](https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1502_1)
12. Brett K. *Epokha dopolnennoi real'nosti* (The Age of Augmented Reality). Moscow: Olimp-biznes; 2018. 527 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-9693-0374-4
13. Ivanov V.V., Malinetskii G.G. *Tsifrovaya ekonomika: mify, real'nost', perspektiva* (Digital economy: myths, reality, perspective). Moscow: RAN; 2017. 64 p. (in Russ.). ISBN: 978-5-906906-04-5

14. Recommendation ITU-R M.2083-0. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Geneva, September, 2015. Available from: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf)

15. Turban L, Urban F, Guillotel P. Extrafoveal Video Extension for an Immersive Viewing Experience. *IEEE: Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2017;23(5):1520-1533. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2527649>

16. Domański M, Stankiewicz O, Wegner K, Grajek T. Immersive visual media – MPEG-I: 360 video, virtual navigation and beyond. In: 24th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2017). Poznań, Poland, may, 2017. <https://www.doi.org/10.1109/IWSSIP.2017.7965623>

**Об авторах:**

**Зуев Андрей Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, директор Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Зуева Анна Николаевна**, кандидат экономических наук, заведующая кафедрой КБ-9 "Предметно-ориентированные информационные системы", Институт комплексной безопасности и специального приборостроения, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (107996, Россия, Москва, ул. Стромынка, д. 20)

Леонов Дмитрий Алексеевич, аспирант, ассистент кафедры практической и прикладной информатики, Институт информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78)

**About the authors:**

**Andrey S. Zuev**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

**Anna N. Zueva**, Cand. Sci. (Economics), Head of the Department CS-9 "Subject-Oriented Information Systems", Institute of Integrated Safety and Special Instrumentation, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

**Dmitriy A. Leonov**, Postgraduate Student, Assistant of Professor of the Department of Practical and Applied Informatics, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).