

УДК 331.44**Исследование потенциала технологии AR-HMD для реализации системы цифрового бережливого производства в инновационном развитии предприятия****Андреев Алексей Генрихович**

Научный руководитель,
ООО «АйТех»,
109028, Российская Федерация, Москва, Тессинский переулок, 5с1;
e-mail: aag071976@list.ru;

Вылгина Юлия Вадимовна

Кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры «Менеджмент и маркетинг»,
Ивановский государственный энергетический университет,
153003, Российская Федерация, Иваново, ул. Рабфаковская, 34;
e-mail: jvilgina@mail.ru

Лютягин Дмитрий Владимирович

Кандидат экономических наук,
доцент кафедры производственного и финансового менеджмента,
Российский государственный геологоразведочный университет,
117485, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23;
e-mail: lyutyagin.d.v@mgi.ru

Аннотация

В статье рассматриваются основные аспекты и важность взаимосвязи инновационного развития предприятия и использования цифровых инструментов бережливого производства. Исследуются вопросы потенциала НИОКР в развитии национальных экономик. Формулируется понятие «инновационное развитие предприятия», а также обосновывается зависимость показателя производительности от применения цифровых и инновационных решений. Уделяется внимание технологии AR-HMD как инструменту, решающему задачи снижения потерь времени за счет квалифицированной удаленной помощи специалистов, проведения контроля работ и тд. В заключении показано, что разработка системы дополненной реальности нашлемного типа, пригодная для использования на производстве, не оказывающая побочных эффектов на зрительное восприятие и реализуемая в условиях российского производства, является актуальной, но еще нерешенной научно-технической проблемой, решение которой обладает высокой практической значимостью. Их применение способно существенно влиять на производственные процессы, повышая их эффективность. Цифровые технологии открывают новые способы повышения производительности, такие как умные

производства, Интернет вещей, алгоритмы машинного обучения, применяемые к большим наборам данных, позволяют продвинуться в решении комплексных проблем в производственных процессах, работающих в технологиях бережливого производства.

Для цитирования в научных исследованиях

Андреев А.Г., Вылгина Ю.В., Лютягин Д.В. Исследование потенциала технологии AR-HMD для реализации системы цифрового бережливого производства в инновационном развитии предприятия // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 8А. С. 544-556.

Ключевые слова

Инновационное развитие предприятия, цифровое бережливое производство, резервы производительности труда, технология AR-HMD.

Введение

Мировая практика инновационного развития, сложившаяся в последнее время, а также процессы, обусловленные «коронакризисом», усилили неопределённость формирования конкурентной среды, рисков инновационных предприятий и производств, то есть тех структур, которые непосредственно влияют на формирование сбалансированного развития национальных экономик. Переход к инновационной экономике (или постиндустриальному типу экономики) невозможен без использования наукоемких и информационных технологий, без применения результатов проводимых научных исследований и поддержания ценности для потребителя. Ключевым аспектом эффективного функционирования предприятия в современных условиях экономики становится наличие действующей производственной системы с совокупностью внедренных инструментов бережливого производства, процессов инновационности и цифровизации.

Основная часть

В современной литературе ряд специалистов пытаются сформулировать, что должно быть включено в понятие «инновационное развитие предприятия» и систематизировать факторы, влияющие на него. Разработок в данном направлении достаточно много, что подтверждает актуальность проводимого исследования. Авторы опираются на труды таких исследователей, как Е.И. Кривенко, Л.В. Лапаева, В.В. Глазунова, А.В. Черяпина, И.С. Борисова и ряд других, которые связывают данный термин с понятиями «инновация», «стратегия», «способность связывать потенциалы», «стоимость предприятия», «привлекательность с точки зрения доходности», «конкурентоспособность», «квалификация персонала» и прочее.

Авторы предлагают понимать под инновационным развитием предприятия рыночную стратегию организационных преобразований с целью создания ценности для потребителя, базирующуюся на инновационных возможностях среды и внутренней силе организации как факторах повышения конкурентоспособности, использующую современные концепции управления и оптимизацию деятельности, ориентированную на активное использование кадрового потенциала и снижения потерь. В целом авторы утверждают, что инновационное развитие предприятия является важным стратегическим процессом, который используется для

мобилизации всех ресурсов предприятия с целью повышения его конкурентоспособности и включает составляющие элементы, необходимые для дальнейшего исследования, в частности, создание и использование предприятием инновационных возможностей; понимание взаимосвязи ресурсов для создания инновации; формирование ценности для потребителя; длительный процесс организационных преобразований; понимание важности стратегического видения; активное использование трудовых ресурсов; снижение неэффективных затрат и потерь.

Анализ практики экономически развитых стран показывает устойчивую тенденцию к увеличению роли инновационных технологий в развитии предприятий, следовательно, инновационное развитие предприятия может обеспечить достижение заданного темпа экономического роста. Установлено, что практически каждый кризис несет за собой снижение затрат на НИОКР, так было в 2008, 2014, 2020 годах. Однако, сегодняшний мировой тренд показывает другой результат: с 2020 года произошло снижение мирового ВВП при росте затрат на НИОКР. Лидирующие позиции занимают Швейцария, Швеция, США, Соединенное Королевство и ряд других. В 2023 г. Китай превзошел страны Евросоюза по НИОКР–вложениям и вышел на второе место в мировом рейтинге уступая только США. Статус экономик, развивающих инновации опережающими темпами, уже на протяжении 13 лет сохраняют Индия, Республика Молдова и Вьетнам.

Слабая конкуренция на российских рынках породила ситуацию, когда отечественные предприятия имеют достаточно высокий уровень доходов при низком уровне инновационного развития и использования инноваций, низкую производительность труда и небольшие затраты на НИОКР и, как следствие, отсутствие потребности в разработке и введении инновационных технологий для устойчивого развития. Инновационные технологии остаются малопривлекательными для предприятий, так как требуют больших финансовых затрат и значительных сроков окупаемости, в затратах российских организаций на инновационную деятельность помимо затрат на ОКР преобладают расходы на приобретение оборудования в связи с изношенной технической базой и мало расходуется на приобретение патентов, ПО, обучение персонала, что отличает российские компании от западных. В современной России расходы на НИОКР составляют около 1% ВВП и они стагнируют 14 лет, несмотря на то, что в 2012 г. были приняты решения об увеличении удельного веса внутренних расходов на НИОКР от ВВП до 3 % к 2020 г. (по факту 0,99 % в 2022 г.). Для сравнения, уровень расходов на НИОКР в СССР в 1988 г. составлял 5 % (то есть в 5 раз выше, чем сегодня), члены Европейского союза на НИОКР тратят в среднем 1,97 % ВВП. Финляндия, Израиль и Корея расходуют на НИОКР 3,55; 4,20 и 4,36 % ВВП соответственно. Таким образом, в мире наблюдается серьезный рост вложений в НИОКР, в котором российские предприятия выглядят не лучшим образом, несмотря на то, что инновационные разработки рассматриваются как основа национальной экономики и возможность повышения эффективности предприятий за счет внедрения новейшего оборудования, а также как средство увеличения производительности труда.

Стоит отметить, что ведущие мировые конкурентоспособные компании, такие как Amazon, Samsung, Apple, Microsoft, Toyota и другие показывают неоднородную, но положительную динамику вложений в НИОКР [М.В.Сергеев, И.М. Сергеев, 2022, 64]: «от 5 до 15% для усиления своей конкурентоспособности, общие мировые тенденции показателя составляют от 15 до 25%., тренды связаны с изменением пропорции затрат на исследования и общей выручки компании за год». В РФ наибольшие затраты в НИОКР показывают предприятия сферы услуг (рис. 1), лидерами по объему вложенных инвестиций в 2023 г. стали «Усть-Луга» (344,2 млрд рублей),

«Технополис Москва» (49,7 млрд рублей), «Иннополис» (42,4 млрд рублей), «Алмаз» (24,3 млрд рублей), «Калуга» (23,4 млрд рублей), «Дубна» (20,3 млрд рублей) [Минэкономразвития России опубликовало отчет о работе ОЭЗ за 2023 год, [www...](#)]. Таким образом, бизнес мало вкладывается в инновационную деятельность и в обновление фондов организаций, так как вынуждены большую долю инновационных расходов перенаправлять на техническое обеспечение базы и меньшую часть средств направлять на деятельность по доведению изобретения до промышленного образца, проектирование, конструирование, дизайн, непрерывное обучение персонала.

Благодаря инновациям на предприятии должно быть сформировано множество внутренних резервов, которые в дальнейшем способствуют интенсивному росту производительности труда. Именно технические инновации позволяют организации наращивать потенциал эффективности использования основных средств, а также развивать динамическую систему управления факторами роста производительности труда.



Рисунок 1 - Оценка интенсивности затрат на НИОК по отраслям (%)

Нужно признать, что производительность труда на российских предприятиях также существенно отстает от ведущих европейских и восточных стран. Причину этого явления многие эксперты видят в снижающейся квалификации персонала и низком уровне управления производством. Кроме того, как было указано выше, высокая степень изношенности основных фондов и оборудования российских предприятий (более 50 % основных фондов в РФ являются полностью изношенными) исключают (или делают сложным) инновационное развитие предприятий. Однако, российские власти указывают, что рост производительности труда должен стать драйвером восстановления и развития экономики в условиях импортозамещения и призывают создать систему повышения производительности труда на предприятиях. Увеличение выработки продукции благодаря максимальному использованию внутренних резервов стало основной идеей национального проекта «Производительность труда», ключевыми целями которого является наращивание показателя на средних и крупных предприятиях базовых несырьевых отраслей экономики, вовлечение в программу как можно больше участников для создания новой производственной культуры. Таким образом, изменения в процессах использования человеческого фактора, повышение квалификационного уровня работников, а также совершенствование подготовки и повышения квалификации рабочих и специалистов становятся путем решения стратегической задачи роста производительности

труда.

В мировой практике для достижения эффективных результатов в этой области широко используется концепция «бережливого производства» – организации деятельности, ориентированной на создание привлекательности для потребителя путем формирования непрерывного потока создания ценности и постоянного совершенствования процессов организации через вовлечение персонала и устранение всех видов потерь. Согласно классическому определению, данному в [Синго, 2006] «бережливое производство – система выявления и устранения потерь, которая ведет в итоге к сокращению длительности финансового и производственного циклов, а также затрат на изготовление продукции». Основная идея бережливого производства заключается в том, чтобы комплексно на протяжении всего жизненного цикла изготовления изделия оптимизировать производственные процессы с изначальной целью поднять выработку и прибыль промышленных предприятий, концепция и инструменты бережливого производства способны влиять на деятельность любой компании замещая базовые положения административно–командной системы управления и интегрируя компании в современные рыночные отношения используя новые подходы в управлении производством.

Традиционная концепция предполагает постоянное совершенствование деятельности. Реализация подхода дает результаты в уменьшении времени выполнения задачи в среднем на 33%, сокращении незавершенного производства на 16% и поднятие производительности труда на 47%. Внедрение системы бережливого производства уже показало свой результат в таких крупных холдингах, как ПАО «КАМАЗ», «ЕвразХолдинг», «Русал», РЖД, «Ростех», Сбербанк и других.

Авторами выделены важные цели внедрения инструментов бережливого производства, влияющие на инновационное развитие предприятия, среди которых устранение всех видов потерь (времени, материалов, труда и т.п.); уменьшение затрат на выполнение процессов; повышение качества результатов деятельности; развитие и вовлечение персонала в работу по улучшениям. Эти цели хорошо коррелируются с целями инновационного развития предприятия, готового использовать скрытые потенциалы в качестве возможностей динамичного развития. В исследовании 2019 г., проведенного ВЭФ и McKinsey, обозначены девять заводов – маяков «четвертой промышленной революции» [World Economic Forum and McKinsey & Company, www...], которые внедрились ряд новых технологий и анонсировали значительное увеличение производительности, улучшение и оптимизацию процессов: использование машинного обучения, аддитивного производства, автоматизации и переносных электронных устройств. Таким образом, бережливое производство, основываясь на принципах экономии материальных и человеческих ресурсов, приводит к повышению качества продукции, а современное управление предполагает, что добиться улучшения процессов можно при помощи бережливого производства, цифровизации и (или) их комбинации.

До сегодняшнего дня компаниям было достаточно купить лучшую доступную технологию и использовать ее более полноценно, чем конкуренты. Бережливое производство было самым надежным инструментом достижения этой цели, однако эта парадигма сегодня уже не работает. Авторы обращают внимание именно на важность комбинации методов, что привело к появлению еще одного понятия, получившего широкое распространение – «цифровое бережливое производство (ЦБП) – это способ предоставить инженерам компании средства для планирования, разработки, численного моделирования и передачи технологических процессов, реализованные в виде комплекта программ для поддержки конструкторско-технологической

подготовки производства. Данная технология представляет собой интегрированную компьютерную систему, включающую средства численного моделирования, 3D-визуализации, анализа и совместной работы, предназначенные для одновременной разработки изделий и технологических процессов их изготовления» [Цифровые технологии улучшают принципы бережливого производства, www...].

Несмотря на то, что бережливое производство будет и далее обеспечивать конкурентное преимущество, цифровизация предлагает еще один путь к повышению производительности, так как конкурентоспособность будет наиболее высока у тех, кто сумеет совместить бережливое производство с цифровизацией. Современные эксперты выделяют технологии, которые принято относить к ЦБП. Среди них [Левенцов В.А, Левенцов А.Н., 2023, 20]: роботизация (RPA); проведение анализа больших данных (Big Data) и предиктивной аналитики; внедрение и использование чат-ботов; использование технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR); внедрение технологии оптического распознавания (OCR/ICR); использование технологии Блокчейн; использование технологии искусственного интеллекта (AI); использование сети Интернет вещей (IoT).

Установлено, что «объединение цифровизации и бережливого производства способствует сокращению затрат на 30 %, в то время как традиционные инструменты бережливого производства способны уменьшить расходы только на 15 %» [там же]. Цифровизация бережливого производства существенно увеличивает влияние традиционных инструментов в таком аспекте, как расширение производства и использование цифровых технологий оказывает гораздо более сильный эффект, чем отдельное применение этих систем. Аналитики утверждают, что наибольший экономический эффект на российских предприятиях дали внедрение роботизации производства, использование Big Data в предиктивной аналитике и принятии решений. Одновременно выделяются проблемы, препятствующие внедрению цифровых технологий бережливого производства, которые выражаются в изношенности производственных мощностей, использовании устаревших и неэффективных техники и технологий; сильной нехватке квалифицированных кадров на производственных предприятиях; низком уровне технологических компетенций, проблемах переобучения персонала; низкой стоимости рабочей силы, и как следствие торможении технического перевооружения и модернизации производства; сопротивлению части персонала предприятий процессам, связанным с внедрением и реализацией цифровизации бережливого производства. Все это может формировать «потери», влияющие на конечную эффективность.

Одним из видов потерь в концепции бережливого производства являются потери времени, вызванные простоями оборудования, машин или работников, из-за ожидания необходимых материалов, информации, времени начала следующей операции, низкой квалификации персонала и т.д. Это заставляет постоянно проводить диагностику работы персонала предприятия и оборудования, в результате чего формируется и накапливается информация о том, сколько времени в течение рабочей смены простаивала техника из-за поломок и иных причин, сколько работников было в вынужденном простое из-за отсутствия заготовок, инструмента и т.д. Внедрение цифровых решений в процессы управления позволят оптимизировать данный вид потерь, дополненная реальность становится той технологией взаимодействия человека и компьютера, которая программным образом визуально совмещает два изначально независимых пространства – мир реальных объектов и виртуальный мир, воссозданный на компьютере. Данная технология призвана существенно повлиять на снижение потерь, важных для создания ценностей для потребителя.

Авторы предлагают использовать инструменты дополненной реальности (в частности, нашлемные системы) для решения проблем внедрения цифровых технологий в процессы бережливого производства ориентируясь на исключение технологических рисков и снижение проблемных производственных моментов. К таким инструментам относятся устройства, которые размещаются на голове пользователя и формируют изображение необходимой информации в его поле зрения так, что ему не приходится переводить взгляд или опускать голову для чтения этой информации. Данные системы (Augmented reality head-mounted displays AR-HMD) привлекают все больше внимания в производственной деятельности, так как позволяют операторам получать доступ к визуальному руководству непосредственно перед их глазами, освобождая при этом обе руки. Технология AR-HMD позволяет пользователям одновременно видеть перед собой элементы реального мира и виртуальные объекты, созданные с помощью компьютера, расширяя физический мир, накладывая на него звук, видео, графику и навигационные данные в режиме реального времени, предоставляя информацию, которая помогает операторам в их работе.

Наиболее распространенным инструментом, применяемым для проецирования виртуальных объектов на реальные, является использование прозрачных оптических элементов-комбайнеров, обеспечивающих одновременное восприятие человеком виртуальных и реальных изображений, а появление микродисплеев с высоким разрешением и высокой яркостью привело к росту популярности AR-HMD.

Анализ показывает, что использование технологии виртуальной реальности растет в различных секторах экономики. Благодаря тому, что они кардинально улучшают пользовательский интерфейс, AR-HMD считаются платформой следующего поколения после широко используемых интеллектуальных коммуникационных и вычислительных терминальных устройств, таких как персональные компьютеры и смартфоны. Необходимо отметить, что в настоящий момент рынок VR и AR только начинает эволюционировать, но уже сейчас использование этих технологий выходит за пределы отрасли развлечений. Рынок устройств виртуальной реальности важен из-за его преобразующего влияния на различные сектора и то, как люди взаимодействуют с цифровыми материалами. При размере рынка в 67,66 млрд долларов США в 2024 году, прогнозируется его рост до 204,35 млрд долларов США к 2029 году [Анализ размера и доли рынка VR-тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг., www...)]. Таким образом, среднегодовой темп роста составит 24,74 % в течение прогнозируемого периода. Совокупная выручка российских разработчиков AR/VR-технологий по итогам 2022 г. достигла 1,9 млрд рублей, что на 83 % больше, чем годом ранее. Ключевыми игроками на рынке устройств виртуальной реальности стоит считать HTC, Sony, MS, Samsung, Valve, Pimax, Varjo, Epic Games, Acer, Lenovo Group, Avegant, Qualcomm, Razer, Sixense, Ultraleap, Vuzix, Kopin, UHP Networks, корпорация StarVR и ряд других [Рынок устройств виртуальной реальности, www...].

Внедрение подобных устройств позволяют не только формировать новые рынки, но и развивать уже существующие. Технологии дополненной и виртуальной реальности в промышленности значительно расширяют поле деятельности современных предприятий и на данной стадии развития служат важной формой поддержки и увеличения эффективности работы в различных областях. Эксперты утверждают, что одновременно с BigData, облачными технологиями и искусственным интеллектом, VR и AR окажутся ключевыми в четвертой промышленной революции и смогут быть важнейшими факторами вычислительных машин следующего поколения.

Авторы отмечают, что уже сегодня AR и VR применяются как инструмент квалифицированной удаленной помощи специалистов при невозможности физического присутствия на предприятии, проведения консультаций по вопросам ремонта и обслуживания оборудования через гарнитуру, контроля работ, инструктажа персонала и прочее. Управляя действиями сотрудника в режиме реального времени, эксперт находит и устраняет неисправность, при необходимости выводя на экран чертежи и схемы, используя указку и другие виртуальные средства. По завершении консультации видеоряд с гарнитуры загружается на ПК для дальнейшего изучения. Кроме непосредственного контроля ремонта техники система дополненной реальности позволяет проводить: аудит, инспекции и плановые ревизионные работы; надзор за процессом производства; устранение ошибок программного обеспечения; инструктаж и обучение персонала; любые другие задачи, не требующие очного присутствия. При правильном применении специализированные AR-комплекты экономят миллионы рублей за счет снижения простоев производственных линий, командировочных затратах, оплате услуг технических консультантов и тд.

Однако, в настоящее время производители AR-HMD сталкиваются и с некоторыми трудностями.

Во-первых, технология AR-HMD – это устройство, устанавливаемое на голову, и система большого объема и веса не подходит для длительного ношения людьми. Таким образом, одной из первоочередных задач при разработке таких систем является минимизация массогабаритных характеристик.

Во-вторых, поскольку AR-HMD – это визуальный дисплей, его параметры должны быть в обязательном порядке согласованы с особенностями зрительного восприятия человека-оператора. Это означает, что его оптическая система должна иметь вынесенный выходной зрачок, сопряженный с входным зрачком глаза.

Ряд специалистов [Van Krevelen, 2010, Azuma, 2001, Сакмаксі, 2006] утверждают, что использование широкоформатных микродисплеев с микронными размерами пикселей накладывают требования на большое поле обзора и высокое разрешение. Однако, одновременное достижение большого поля зрения и высокого разрешения является сложным и разработка методов для его достижения представляет собой серьезную техническую проблему.

Спектральный диапазон микродисплеев также должен соответствовать чувствительной области спектра человеческого глаза, а для коммерческого применения, как правило, требуются AR-HMD-дисплеи с полноцветным отображением. Это приводит к необходимости коррекции хроматических аберраций формирующей оптической системы. Кроме того, требуется, чтобы микродисплей имел большой диапазон регулировки яркости в пределах диапазона комфорта человеческого глаза для формирования достаточного яркостного контраста между внешней средой и виртуальной информацией, когда глаза человека воспринимают виртуальную информацию. Таким образом, AR-HMD должны обладать полноцветностью, большим полем зрения, высоким разрешением и разработка оптической системы AR-HMD с такими требованиями и вынесенным зрачком при жестких массогабаритных характеристиках является достаточно сложной и актуальной задачей.

Реализованные в настоящее время оптические схемы для систем AR-HMD можно разделить на три группы по типу используемых комбайнеров (рис. 2):

- макрооптические схемы включают в себя традиционные оптические системы, призмы произвольной формы и геометрические оптические волноводы, основанные на законе преломления и отражения Снеллиуса;

- микрооптические основаны на оптических системах с дифракционными решетками, которые связаны с эффектами отклонения света при дифракции на периодических структурах;
- нанооптические реализации базируются на металлических и метаповерхностных отражателях, которые основаны на эффектах фазовой модуляции на наноразмерных микроструктурах.



Рисунок 2 - Оптические схемы систем дополненной реальности

В первых AR–HMD для формирования изображений дисплеев с высокой яркостью использовались оптические конструкции, основанные на отражающих и преломляющих линзовых элементах. В этих ранних решениях, ограниченных технологией обработки и методами проектирования, использовались простые осесимметричные оптические системы для формирования изображений. Специалисты в [Kress, 2014] указывают, что эти методы не могли удовлетворить растущим требованиям на большой угол обзора, высокое разрешение и малые габариты. С развитием технологии обработки, методов проектирования и методов описания поверхностей свободной формы (ПСФ) были разработаны внеосевые преломляющие и отражающие структуры на основе асферических поверхностей (АП) и ПСФ, подробно рассматриваемые в трудах [Supranowitz, 2013, Yang, 2017, Wei, 2018]. Это также послужило толчком к разработке нескольких катадиоптрических решений AR–HMD.

АП и ПСФ могут корригировать большинство aberrаций в системах оптической визуализации. Расширяя поле зрения и обеспечивая высокое разрешение, они также позволяют сделать конструкцию более легкой и компактной. Разработка высокоточной технологии обработки оптических деталей методом литья под давлением позволила реализовать массовое производство асферических линз и оптических линз произвольной формы. В [Tang, 2018] указывается, что использование AR–HMD, основанных на геометрических оптических

волноводах, позволяет создавать более тонкие и легкие системы, а их характеристики приближаются к обычным очкам для коррекции зрения. Однако возникают значительные проблемы с точки зрения равномерности освещения, подавления рассеянного света и расширения поля зрения. Кроме того, указываются трудности налаживания массового производства из-за сложной технологии их обработки.

Внедрение дифракционных оптических элементов в AR-HMD системы вызвало значительный интерес ввиду того, что при падении светового луча под определенным углом, дифракционный оптический элемент может обеспечить больший угол отклонения луча по сравнению с таковым в случае геометрического преломления и отражения. Для уменьшения веса системы и оптических аберраций были разработаны дифракционные AR-HMD, технология которых нашла отражение в [Liu, 2018], в основе которых лежат волноводы с поверхностными рельефными решетками (ППР) и объемными голограммными решетками (ОГР).

Разработанные системы имеют форму тонкого и легкого волновода, что отражает идеальную форму будущих AR-HMD. Плоская дифракционная волноводная технология стала популярным объектом исследований благодаря своим преимуществам в отношении форм-фактора и большого диаметра выходного зрачка. Однако современные дифракционно-волноводные системы все еще имеют множество недостатков, таких как низкая эффективность, хроматические аберрации в полноцветных дисплеях, неравномерность освещенности и отсутствие технологии массового производства, что препятствует их коммерческому применению. Кроме того, были исследованы и разработаны решетки на основе жидких кристаллов и поляризационные объемные решетки (ПОР), рассмотренные в [Zhang, 2019], что позволило достичь почти 100 % дифракционной эффективности. Применение металинз в AR-HMD также привлекло исследовательский интерес благодаря их мощным возможностям в управлении фазой волнового фронта и создании плоских элементов.

Таким образом, можно констатировать, что все известные оптические решения имеют свои достоинства и недостатки. Макрооптические решения, претерпели трансформацию от традиционных оптических решений к призмам произвольной формы и геометрическим оптическим волноводам. Они значительно улучшили качество изображения и компактность систем AR-HMD. Использование ПСФ позволило эффективно увеличить поле зрения. Плоские оптические волноводы еще больше уменьшают габариты и вес системы. Использование дифракционных элементов, основанных на микрооптических решениях, делает AR-HMD легче и тоньше, однако угол обзора и полноцветный дисплей являются важными факторами, которые ограничивают разработку дифракционных волноводов. Волноводы ППР часто приходится укладывать в несколько слоев для использования с полноцветными дисплеями, в то время как волноводы ОГР часто требуют трехступенчатой многослойной экспозиции, которая может легко вызвать перекрестные цветовые помехи, что затрудняет получение полноцветного изображения с большим углом обзора. Появление комбайнеров на основе ПОР значительно повысило эффективность дифракции при одновременном расширении поля зрения, что является направлением исследований новых AR-HMD. Что касается нанооптических решений, то в AR-HMDs также были применены метаповерхности и в определенной степени была реализована конструкция ультратонких окуляров с большим полем зрения и апертурой, однако для изготовления таких систем требуется высокотехнологичное дорогое производство.

Из вышеизложенного следует, что реализация микрооптических и нанооптических схемных решений, а также макрооптических с ПСФ, пока весьма затруднительна в условиях российского производства. К тому же, применительно к производственной сфере деятельности известные

схемные решения построения оптических систем имеют ряд существенных недостатков, которые делают их практически непригодными для использования рабочими на производстве.

Во-первых, использование комбайнера, который накладывает дополнительную визуальную информацию на наблюдаемое рабочим пространство, неизменно приводит к ухудшению восприятия реальных объектов: они размываются, искажается расстояние до них, перекрываются детали, что является весьма травмоопасным.

Во-вторых, транслируемое изображение зачастую обладает пониженной яркостью и маленьким размером, что приводит к повышенной утомляемости и перенапряжению глазных мышц. А учитывая, что эти устройства представляют собой очки, то люди с плохим зрением не могут использовать свои очки, которые они используют для повседневной коррекции зрения.

От этих недостатков свободно известно схемное решение, являющееся на настоящий момент лидером рынка RealWear HMT-1. Данное устройство работает без комбайнера – изображение наблюдается оператором напрямую с микродисплея. Однако использование только одного микродисплея, расположенного у правого глаза, негативно влияет на зрительный аппарат при долгом просмотре или регулярном возвращении к транслируемому изображению.

Заключение

Таким образом, разработка системы дополненной реальности нашиваемого типа, пригодная для использования на производстве, не оказывающая побочных эффектов на зрительное восприятие и реализуемая в условиях российского производства, является актуальной, но еще нерешенной научно-технической проблемой, решение которой обладает высокой практической значимостью. Их применение способно существенно влиять на производственные процессы, повышая их эффективность. Цифровые технологии открывают новые способы повышения производительности, такие как умные производства, Интернет вещей, алгоритмы машинного обучения, применяемые к большим наборам данных, позволяют продвинуться в решении комплексных проблем в производственных процессах, работающих в технологиях бережливого производства. Дополненная реальность и переносные электронные устройства позволяют операторам быстро учиться и точно работать в цеху. Бережливое производство способствует максимальной удовлетворенности клиента. Однако, это касается только тех компаний, которые готовы к инновационному развитию. Без внедрения базовых инструментов бережливого производства любой проект «цифровизации», скорее всего, принесет больше вреда, чем пользы.

Библиография

1. Левенцов В.А, Левенцов А.Н. Бережливое производство и проблемы его цифровизации.-Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 1 – С. 20-25
2. М.В. Сергеев, И.М. Сергеев. Анализ динамики затрат на НИОКР ведущих мировых компаний в период пандемии коронавируса.- Инноватика и экспертиза. 2022. Выпуск 2 (34).- стр.64-74.
3. Сигео Синго. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. - М: ИКСИ, 2006. ISBN 5-903148-034
4. Azuma, R. et al. Recent advances in augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21, 34-47 (2001).
5. Cakmakci, O. & Rolland, J. Head-worn displays: a review. Journal of Display Technology 2, 199-216 (2006).
6. Cakmakci, O. et al. Optimal local shape description for rotationally non-symmetric optical surface design and analysis. Optics Express 16, 1583-1589 (2008).
7. Kress, B., Saeedi, E. & Brac-de-la-Perriere, V. The segmentation of the HMD market: optics for smart glasses, smart eyewear, AR and VR headsets. Proceedings of SPIE 9202, Photonics Applications for Aviation, Aerospace, Commercial, and Harsh Environments V. San Diego, California, United States: SPIE, 2014, 92020D.
8. Liu, A. et al. Diffraction efficiency distribution of output grating in holographic waveguide display system. IEEE

- Photonics Journal 10, 7000310 (2018).
9. Supranowitz, C. et al. Fabrication and metrology of high-precision freeform surfaces. Proceedings of SPIE 8884, Optifab 2013. Rochester, New York, United States: SPIE, 2013, 888411-1.
 10. Tang, R. R. et al. Multiple surface expansion method for design of freeform imaging systems. Optics Express 26, 2983-2994 (2018).
 11. Van Krevelen, D. W. F. & Poelman, R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. International Journal of Virtual Reality 9, 1-20 (2010).
 12. Wei, L. D. et al. Design and fabrication of a compact off-axis see-through head-mounted display using a freeform surface. Optics Express 26, 8550-8565 (2018).
 13. Yang, T., Jin G. F. & Zhu, J. Automated design of freeform imaging systems. Light: Science & Applications 6, e17081 (2017).
 14. Zhang, Y. & Fang, F. Z. Development of planar diffractive waveguides in optical see-through head-mounted displays. Precision Engineering 60, 482-496 (2019).

Exploring the potential of AR-HMD technology for implementing a digital lean manufacturing system in innovative development of the enterprise

Aleksei G. Andreev

Scientific Director,
iTech LLC,
109028, 5c1, Tessinsky Lane, Moscow, Russian Federation;
e-mail: aag071976@list.ru;

Yuliya V. Vylgina

PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Management and Marketing,
Ivanovo State Energy University,
153003, 34, Rabfakovskaya str., Ivanovo, Russian Federation;
e-mail: jvilgina@mail.ru

Dmitrii V. Lyutyagin

PhD in Economics,
Associate Professor of the Department of Production and Financial Management,
Russian State Geological Prospecting University,
117485, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: lyutyagindv@mgi.ru

Abstract

The article discusses the main aspects and importance of the relationship between innovative development of an enterprise and the use of digital lean manufacturing tools. The issues of R&D potential in the development of national economies are explored. The concept of "innovative development of an enterprise" is formulated, and the dependence of the productivity indicator on the use of digital and innovative solutions is substantiated. Attention is paid to AR-HMD technology as a tool that solves the problems of reducing time losses due to qualified remote assistance from

specialists, monitoring work, etc. The development of a helmet-type augmented reality system suitable for use in production, which does not have side effects on visual perception and is implemented in Russian production conditions, is an urgent, but still unresolved scientific and technical problem, the solution of which has high practical significance. Their use can significantly affect production processes, increasing their efficiency. Digital technologies are opening up new ways to increase productivity, such as smart manufacturing, the Internet of Things, machine learning algorithms applied to large datasets, and allow us to advance in solving complex problems in production processes operating in lean manufacturing technologies.

For citation

Andreev A.G., Vylgina Yu.V., Lyutyagin D.V. (2024) Issledovanie potentsiala tekhnologii AR-HMD dlya realizatsii sistemy tsifrovogo berezhlivogo proizvodstva v innovatsionnom razvitii predpriyatiya [Exploring the potential of AR-HMD technology for implementing a digital lean manufacturing system in innovative development of the enterprise]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (8A), pp. 544-556.

Keywords

Innovative development of an enterprise, digital lean manufacturing, labor productivity reserves, AR-HMD technology.

References

1. Azuma, R. et al. Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications* 21, 34-47 (2001).
2. Cakmakci, O. & Rolland, J. Head-worn displays: a review. *Journal of Display Technology* 2, 199-216 (2006).
3. Cakmakci, O. et al. Optimal local shape description for rotationally non-symmetric optical surface design and analysis. *Optics Express* 16, 1583-1589 (2008).
4. Kress, B., Saedi, E. & Brac-de-la-Perriere, V. The segmentation of the HMD market: optics for smart glasses, smart eyewear, AR and VR headsets. *Proceedings of SPIE 9202, Photonics Applications for Aviation, Aerospace, Commercial, and Harsh Environments V*. San Diego, California, United States: SPIE, 2014, 92020D.
5. Liu, A. et al. Diffraction efficiency distribution of output grating in holographic waveguide display system. *IEEE Photonics Journal* 10, 7000310 (2018).
6. Supranowitz, C. et al. Fabrication and metrology of high-precision freeform surfaces. *Proceedings of SPIE 8884, Optifab 2013*. Rochester, New York, United States: SPIE, 2013, 888411-1.
7. Tang, R. R. et al. Multiple surface expansion method for design of freeform imaging systems. *Optics Express* 26, 2983-2994 (2018).
8. Van Krevelen, D. W. F. & Poelman, R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality* 9, 1-20 (2010).
9. Wei, L. D. et al. Design and fabrication of a compact off-axis see-through head-mounted display using a freeform surface. *Optics Express* 26, 8550-8565 (2018).
10. Yang, T., Jin G. F. & Zhu, J. Automated design of freeform imaging systems. *Light: Science & Applications* 6, e17081 (2017).
11. Zhang, Y. & Fang, F. Z. Development of planar diffractive waveguides in optical see-through head-mounted displays. *Precision Engineering* 60, 482-496 (2019).
12. Leventsov V.A., Leventsov A.N. Lean manufacturing and the problems of its digitalization.-Modern high-tech technologies. – 2023. – No. 1 – pp. 20-25
13. M.V. Sergeev, I.M. Sergeev. Analysis of the dynamics of R&D costs of the world's leading companies during the coronavirus pandemic.- *Innovation and expertise*. 2022. Issue 2 (34).- pp.64-74.
14. Shigeo Shingo. *The study of Toyota's production system from the point of view of production organization*. - M: ICSI, 2006. ISBN 5-903148-034