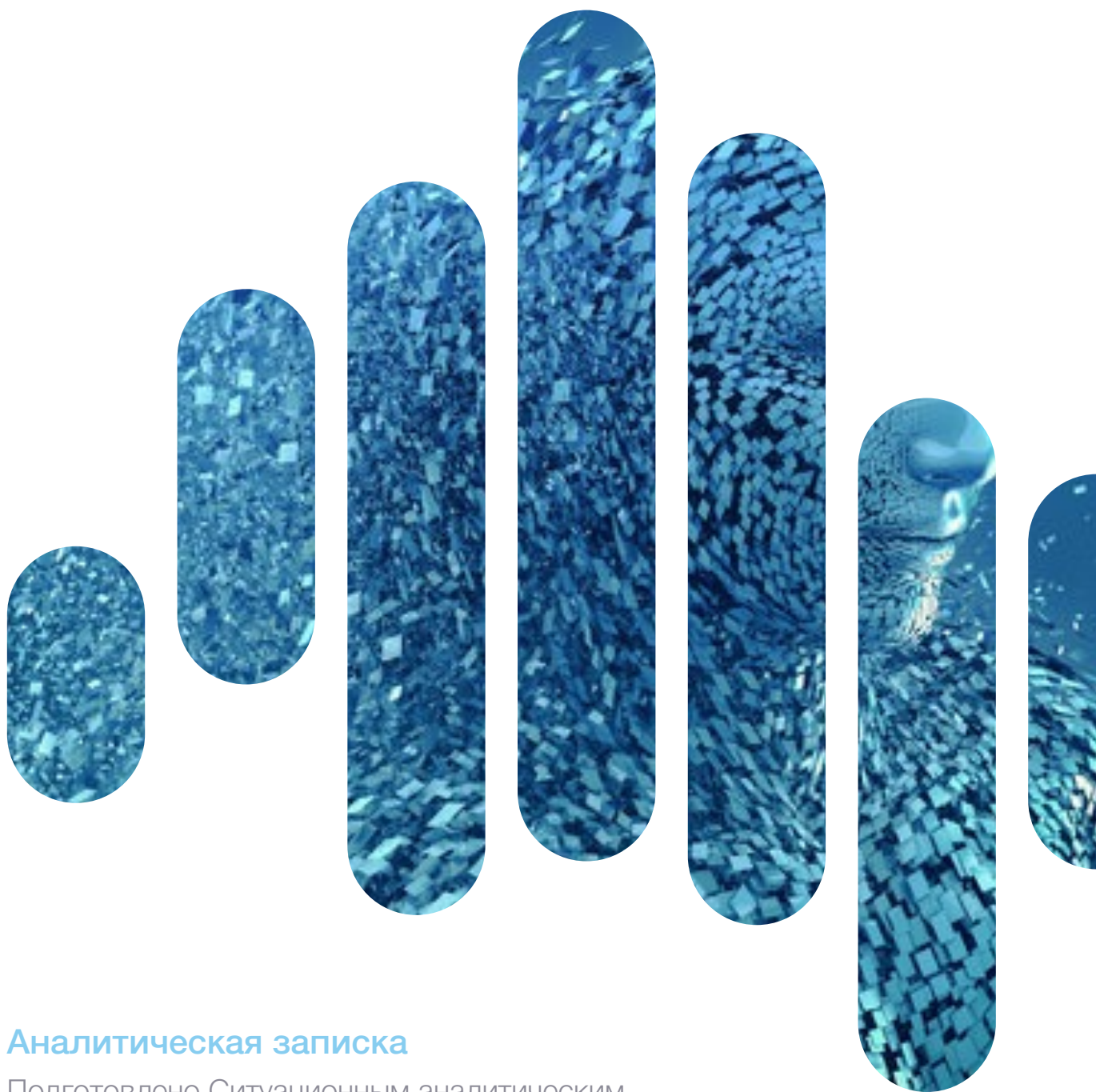




ОЭСР «НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ И
ИННОВАЦИИ 2018»

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ТЕХНОЛОГИИ СЛЕДУЮЩЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ



Аналитическая записка

Подготовлено Ситуационным аналитическим
центром Казанского федерального университета

01. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия разработка и внедрение новых технологий производства начинают иметь все более важное значение для повышения уровня жизни и противодействия снижению роста производительности труда во многих странах мира. Быстрое старение населения (этот показатель должен увеличиться в 2 раза в ведущих странах мира в течение следующих 35 лет) требует безотлагательного повышения производительности труда. Цифровые технологии могут повысить производительность во многих отношениях. Например, они могут сократить время простоя машины, поскольку «умные» системы прогнозируют потребности в техническом обслуживании. Они также могут выполнять работу более быстро, точно и последовательно. Сейчас все чаще используются автономные, интерактивные и недорогие роботы.

Благодаря новым технологиям производства появится несколько новых способов принести пользу окружающей среде. Например, нанотехнологии позволяют разрабатывать материалы, которые самоохлаждаются до температуры ниже окружающей среды, не потребляя энергии.

В этой части рассматривается ряд управленческих мер, направленных на обеспечение следующей производственной революции.

Этот текст состоит из двух частей. Первая часть затрагивает отдельные технологии, их применение в производстве и конкретные социально-экономические последствия. К этим технологиям относятся: **искусственный интеллект (ИИ), блокчейн, 3D-печать, промышленные биотехнологии, новые материалы и нанотехнологии.** Во второй части рассматриваются два сквозных вопроса политики, относящиеся к будущему производству - доступ к высокопроизводительным вычислениям и осведомленность о них, а также государственная поддержка НИОКР с акцентом на исследования в области продвинутых компьютерных систем и искусственного интеллекта.

02. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА: ПОСЛЕДНИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПОЛИТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

ИИ в производстве

В Оксфордском словаре английского языка искусственный интеллект определяется как «теория и развитие компьютерных систем, способных выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта». Экспертные системы (форма ИИ, опирающегося на запрограммированные экспертные знания) использовались в промышленных процессах в течение почти четырех десятилетий (Zweben and Fox, 1994). Однако с развитием глубокого обучения с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) (основного источника недавнего прогресса в этой области) ИИ может быть применен к большинству промышленных видов деятельности - от оптимизации многостаночных систем до расширения исследований в области промышленности (**вставка 2.1**). Кроме того, использование ИИ в производстве будет стимулироваться автоматизированными процессами машинного обучения, которые облегчат предприятиям, ученым и другим пользователям использование этой технологии. ИИ, использующий методы глубокого обучения и искусственные нейронные сети, обладает коммерческим потенциалом. Согласно исследованиям, технологический сектор, а также секторы транспорта, логистики и автомобильной промышленности лидируют по доле компаний, внедряющих ИИ (Boston Consulting Group, 2018).



Вставка 1.1. Новейшие примеры применения ИИ в производстве

Примеры недавнего использования ИИ в производстве свидетельствуют о масштабе вовлеченных отраслей и происходящих процессов:

- **Фармацевтическая отрасль.** По словам Leo Barella, директора по глобальному развитию инфраструктуры в англо-шведской фармацевтической компании «АстраЗенека», к 2027 году ИИ станет основным инструментом для открытия лекарств (AI Intelligent Automation Network, 2018).
- **Аэрокосмическая отрасль.** Авиастроительная компания Airbus задействовала ИИ при выявлении закономерностей в производственных проблемах при создании своего нового самолета A350. Работник может столкнуться с незнакомой трудностью, в то время как ИИ, анализируя огромное количество контекстуальной информации, может распознать проблему, сопоставив ее с похожими процессами и изменениями. Поскольку ИИ незамедлительно предлагает решение производственных проблем, время, необходимое для устранения сбоев, сократилось на треть (Ransbotham et al, 2017).
- **Полупроводники.** ИИ теперь может собирать схемы для компьютерных чипов атом за атомом (Chen, 2018). Компания Landing.ai разработала инструменты машинного зрения для выявления дефектов в промышленных товарах, таких как электронные компоненты в весах, которые невидимы невооруженным глазом.
- **Нефтяная промышленность.** Роботы-переносчики камер компании General Electric производят осмотр внутренней части нефтепроводов в поисках микроскопических трещин. ИИ проверяет данные снимков камер и предупреждает людей об обнаружении потенциальных неисправностей (Champain, 2018).

- **Горнодобывающая промышленность.** ИИ используется для поиска месторождений полезных ископаемых, оптимизации использования взрывчатых веществ, а также для эксплуатации автономных буровых установок, сортировщиков руды, транспортеров и грузовых автомобилей. В июле 2017 года горнодобывающая компания BHP перешла на использование полностью автономных грузовиков на шахте в Западной Австралии (Walker, 2017).
- **Строительство.** Программное обеспечение использует ИИ для определения каждого изменения в проектном решении, предлагая оптимальные конфигурации и схемы зданий.
- ИИ изучает накопленные за десятилетия экспериментальные данные для того, чтобы значительно сократить время, необходимое для обнаружения новых промышленных материалов (Chen, 2017).
- ИИ позволяет роботам получать простые указания людей, включая команды, не предусмотренные при первоначальном программировании робота (Dorfman, 2018).
- ИИ позволят сделать неуправляемые объемы данных «Интернета вещей» полезными в практическом смысле. Например, General Electric управляет виртуальной фабрикой для улучшения производственных процессов. Используемый для прогностического технического обслуживания, ИИ может обрабатывать сводные аудио- и видеоданные, данные сенсоров и истории обслуживания, что значительно эффективнее традиционных методов обслуживания.
- ИИ также может снизить энергопотребление в центрах хранения и обработки данных (Sverdlik, 2018). Кроме того, ИИ может усовершенствовать цифровую безопасность: например, компания-разработчик программного обеспечения Pivotal создала систему ИИ, которая распознает, когда текст может быть частью пароля, помогая избежать случайного распространения паролей в Интернете. ИИ сочетается с другими технологиями, такими как дополненная и виртуальная реальность, для повышения уровня подготовки кадров.

Вставка 1.2. ИИ и цифровизация для подготовки кадров

Глобализация повысила спрос на кастомизацию. Потребность в требуемой от работников способности быстро приспосабливаться к обстоятельствам возрастает и устоявшихся методов обучения становится недостаточно. Цифровизация и ИИ могли бы в корне изменить процесс обучения работников как на рабочем месте, так и за его пределами. Инвестиции в оборудование, необходимого для обучения без отрыва от производства, резко сократились благодаря цифровизации, поскольку мощные компьютеры обеспечивают точное интерактивное моделирование сложных производственных процессов. Кроме того, стоимость систем дополненной реальности и мультимодальных интерфейсов будет снижаться, в то время как их производительность в заводских условиях продолжает улучшаться. Основная проблема, связанная с использованием всех преимуществ цифровых обучающих и вспомогательных систем, заключается в самом учебном материале. Учебные курсы требуют специальных знаний, часто из самых разнообразных источников. Кроме того, они должны быть адаптированы к контексту (опыт работника, имеющиеся навыки, характеристики компании, где требуется обучение, и т. д.). На сегодняшний день учебные материалы в основном разрабатываются вручную, что является дорогостоящим и трудоемким процессом. ИИ предлагает решения этой проблемы. Система искусственного интеллекта типа «виртуальный собеседник» и подобные системы теперь могут взаимодействовать с работниками, используя естественный язык, предоставляя ответы и контекстно-зависимую помощь, которые часто опираются на несколько баз данных. Еще более важное значение имеет то, что ИИ может использовать коллективный опыт для совершенствования профессиональной подготовки и виртуальной поддержки. Общедоступные базы данных по профессиональной подготовке могут содержать информацию о совместном опыте многих работников, проходящих обучение, их успеваемости, реакциях в непредвиденных ситуациях и других показателях. Если обучающие системы будут расширены с целью обслуживания огромного количества пользователей, они будут чрезвычайно полезны.

ИИ: конкретные стратегии

Государственная политика влияет на развитие и распространение ИИ. К подобным значимым мерам относятся: положения, регулирующие конфиденциальность данных; нормы ответственности (которые влияют, в частности, на распространение ИИ); поддержка исследований и правила в области интеллектуальной собственности. Политические направления в этой области могут включать в себя: политику в области конкуренции; экономическую и социальную политику, направленную на смягчение неравенства; политику в области образования и профессиональной подготовки; меры, влияющие на общественное восприятие ИИ; и меры, связанные с цифровой безопасностью. Тщательно продуманная политика в отношении ИИ, вероятно, даст хороший результат, так как ИИ может применяться в широких масштабах и ускорять инновационные процессы (Cockburn et al., 2018). В этом разделе основное внимание уделяется политическим мерам, непосредственно касающимся применения ИИ в производстве, а именно: мерам, влияющим на профессиональную подготовку, мерам по устранению ограничений аппаратного обеспечения, а также разработке нормативных актов, которые не усложняют развитие инноваций.



Важность набора данных для обучения

Многие инструменты, которые компании используют для управления ИИ, существуют в виде свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом (т.е. их исходный код является общедоступным и изменяемым). К ним относятся библиотеки программного обеспечения (TensorFlow и Keras), инструменты, облегчающие кодирование (Git и luv), текстовые редакторы (Atom и Nano) и среды разработки (Anaconda и RStudio). Проблемы при использовании ИИ в производстве связаны с его применением в конкретных системах и созданием высококачественных данных в области профессиональной подготовки.

Модели ИИ являются неточными без больших объемов данных. Алгоритму глубокого обучения может потребоваться 5 000 маркированных примеров по соответствующему параметру и до 10 миллионов маркированных примеров в целом, чтобы соответствовать человеческим качествам (Goodfellow, Bengio and Courville, 2016). Наиболее эффективное использование ИИ часто объединяет различные типы данных, такие как аудио, текст и видео. Во многих случаях данные для обучения ИИ должны обновляться ежемесячно или даже ежедневно (McKinsey Global Institute, 2018). Следовательно, компании, обладающие большими информационными ресурсами, такие как Google и Alibaba, имеют преимущество в использовании ИИ. Кроме того, промышленное применение ИИ является относительно новой тенденцией, что ограничивает доступность данных. Однако этого нельзя сказать о таких отраслях, как финансы и маркетинг, в которых ИИ используется в течение более длительного времени (Faggella, 2018).

В будущем достижения научных исследований могут сделать системы ИИ менее требовательными к данным. Например, ИИ может учиться на меньшем количестве примеров или генерировать надежный набор данных для обучения (Simonite, 2016). В декабре 2017 года компьютерная программа AlphaZero достигла невероятно высокого уровня в шахматах, играя против себя, используя только правила игры и не прибегая к внешним данным. Однако в основанных на правилах играх, таких как, например, шахматы, высокая производительность может быть достигнута с помощью смоделированных данных. В настоящее время набор данных для обучения должен накапливаться для дальнейшего его применения в реальных условиях.

Правительства могут способствовать обмену данных

Многие фирмы хранят ценные данные, которые они не используют эффективно (из-за отсутствия необходимых навыков и знаний, инфраструктуры данных или по другим причинам). Это происходит даже в фирмах, обладающих огромными финансовыми ресурсами. Например, по некоторым данным, в настоящее время используется менее 1% данных, полученных на нефтяных вышках (The Economist, 2017). Однако многие стартапы в области ИИ могут помочь извлекать пользу из данных, к которым у компаний нет легкого доступа. Для того, чтобы решить эту проблему, правительства могут выступать в качестве катализаторов и честных посредников для партнерских отношений в области данных. Среди прочего, они могли бы работать с соответствующими заинтересованными сторонами для разработки добровольных типовых соглашений для обмена данными.



Основной вклад ИИ в производство может заключаться в создании совершенно новых отраслей промышленности, основанных на научных открытиях, сделанных благодаря ИИ.

03. БЛОКЧЕЙН В ПРОИЗВОДСТВЕ

Блокчейн - технология распределенного реестра - имеет много потенциальных применений в производстве (**вставка 1.3**). Блокчейн - все еще незрелая технология, и многие приложения находятся на этапе уточнения концепции. «Блокчейн как услуга» уже предоставлена такими компаниями, как Microsoft, SAP, Oracle, Hewlett-Packard, Amazon и IBM. Кроме того, такие консорциумы, как Hyperledger и Ethereum Enterprise Alliance разрабатывают технологии бухгалтерского учета с открытым исходным кодом в нескольких отраслях (European Commission, 2018). Применение блокчейна в производстве сопряжено с несколькими проблемами: блокчейн предполагает фундаментальные изменения в бизнес-процессах, особенно в отношении соглашений и участия многих действующих лиц в цепочке поставок. Когда задействовано много компьютеров, скорость транзакции также может быть ниже, чем у некоторых альтернативных процессов. Использование блокчейнов наиболее целесообразно, когда дезинтермедиация (отказ от посредников), безопасность, создание цепочки производства и сбыта являются приоритетными (Vujinovic, 2018). Еще одна проблема связана с тем фактом, что большая часть разработки блокчейнов остается раздробленной: масштабируемость любой платформы на основе блокчейнов - будь то в цепочках поставок или финансовых услугах - будет зависеть от того, будет ли она взаимодействовать с другими платформами (Hardjano et al., 2018).



Вставка 1.3. Блокчейн: возможное применение в производстве

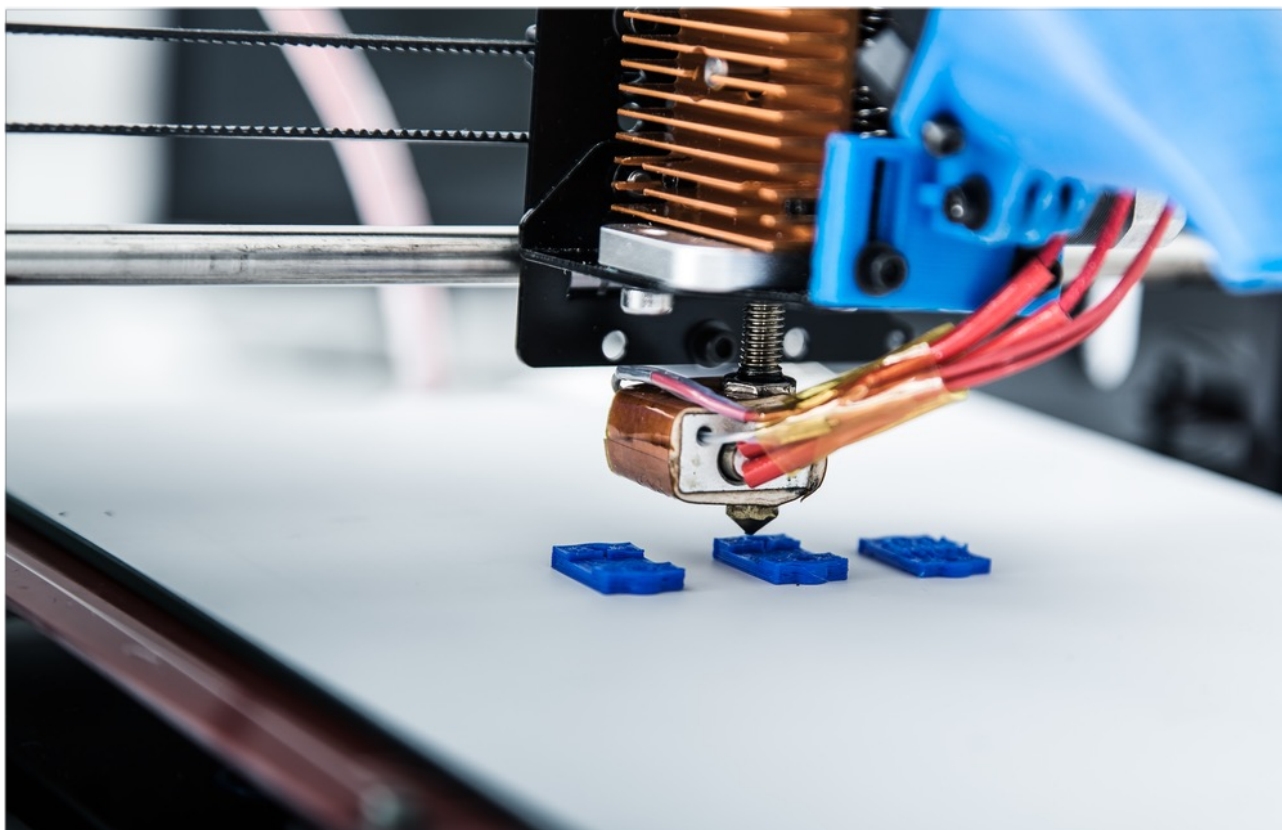
Блокчейн может трансформировать важные аспекты производства в сочетании с другими технологиями. Например:

- Основным применением блокчейна является отслеживание производственно-сбытовых цепочек. Одним из последствий этого может стать сокращение контрафактных товаров: только в автомобильной промышленности фирмы теряют десятки миллиардов долларов в год из-за контрафактных деталей (Williams, 2013).
- Блокчейн может заменить элементы систем общеорганизационного планирования ресурсов. Шведская компания-разработчик программного обеспечения IFS продемонстрировала, как блокчейн может быть интегрирована в корпоративные системы планирования ресурсов в авиационной отрасли. Коммерческий самолет состоит из миллионов частей. Необходимо отслеживать каждую часть, а также вести учет всех работ по техническому обслуживанию. Блокчейн может устранить текущие сбои в таком отслеживании (McArian, 2017).
- Блокчейн апробируется в качестве средства, позволяющего осуществлять сквозное шифрование всего процесса проектирования, передачи и печати CAD-файлов. В случае успеха эта технология может стимулировать инновации с использованием 3D-печати, защищать интеллектуальную собственность и помогать бороться с подделками.
- Храня цифровые данные о каждой изготовленной детали, блокчейн может предоставить доказательство соответствия гарантиям, лицензиям и стандартам в производстве, монтаже и обслуживании (European Commission, 2018).
- Блокчейн может стимулировать более эффективное использование промышленных активов. Например, запись истории использования для каждой машины и единицы оборудования будет способствовать развитию вторичного рынка для таких активов.
- Блокчейн может проверить аутентичность машинного обмена данными, проводить микроплатежи и помогать монетизировать интернет вещей.
- Предоставляя точные данные по производственным и распределительным процессам, блокчейн также может улучшить прогнозную аналитику.

04. 3D-ПЕЧАТЬ

3D-печать быстро развивается благодаря инновациям, падению цен на принтеры и материалы, а также качественные печатные объекты. Последние нововведения включают 3D-печать с использованием новых материалов, таких как стекло, биологические клетки и даже жидкости; печатающие головки с роботизированной рукой, которые позволяют печатать объекты больше, чем сам принтер; гибридные 3D-принтеры. Большая часть 3D-печати используется для создания прототипов, моделей и инструментов.

Ожидается, что затраты на переход от традиционных технологий массового производства к 3D-печати в ближайшие годы будут снижаться по мере роста объемов производства, хотя трудно точно предсказать, насколько быстро будет происходить распространение 3D-печати.



3D-печать: конкретные стратегии

Одним из приоритетных направлений в 3D-печати является поощрение процессов печати с низким энергопотреблением. Другим приоритетом является использование и разработка материалов, оказывающих незначительное воздействие на окружающую среду, таких как, например, компостируемые биоматериалы.

Управленческие механизмы для достижения этих целей включают в себя:



целевые гранты или инвестиции для коммерциализации исследований в этих направлениях



создание системы добровольной сертификации для маркировки 3D-принтеров с различными степенями устойчивости по нескольким характеристикам

05. ПРОМЫШЛЕННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ И БИОЭКОНОМИКА

Являясь частью биоэкономики, промышленные биотехнологии подразумевают производство товаров из возобновляемой биомассы (древесина, продовольственные и непродовольственные культуры, бытовые отходы). Значительный прогресс был достигнут в области промышленных биотехнологий. Например, несколько десятилетий исследований в области биологии привели к появлению технологий генной модификации. При сочетании с другими научными и технологическими достижениями, например, в области материаловедения и робототехники, появляются инструменты, позволяющие начать революцию в производстве на основе биотехнологий. Батареи на основе биологического сырья, искусственный фотосинтез, микроорганизмы, которые производят биотопливо, являются лишь некоторыми примерами последних достижений в области биотехнологий.

Несмотря на эти достижения, наибольшее положительное воздействие промышленных биотехнологий на окружающую среду зависит от развития передовых биоперерабатывающих заводов, которые превращают устойчивую биомассу в товарную продукцию (продукты питания, корма для животных, материалы, химикаты) и энергию (топливо, электроэнергия, тепло) (OECD, 2017).



Промышленные биотехнологии и биоэкономика: конкретные стратегии

Стратегии в области биотехнологий должны быть направлены на решение вопроса устойчивости используемой биомассы. Правительствам следует поддержать инициативу по разработке стандартных определений устойчивости сырья, а также формулированию международных соглашений о показателях, необходимых для стимулирования сбора и измерения данных устойчивости. Кроме того, необходимо уделить особое внимание стандартам экологической эффективности и изучить экономику крупных биопроизводств.

Государственные инициативы в области биотоплива существовали в течение десятилетий, однако недостаточно поддержки было оказано производству химикатов на биооснове, хотя это могло бы существенно уменьшить выбросы парниковых газов и сохранить невозобновляемые ресурсы (OECD, 2018с).

Что касается нормативных актов, правительства должны сосредоточиться на сокращении барьеров на пути торговли биопродуктами; устранении нормативных препятствий, мешающих инвестированию; применении единых стандартов для биопродуктов и биотоплива.

Более эффективные системы утилизации отходов также могут стимулировать биоэкономику. Правительства могли бы также способствовать поддержке биоэкономики и промышленных биотехнологий посредством государственных закупок.

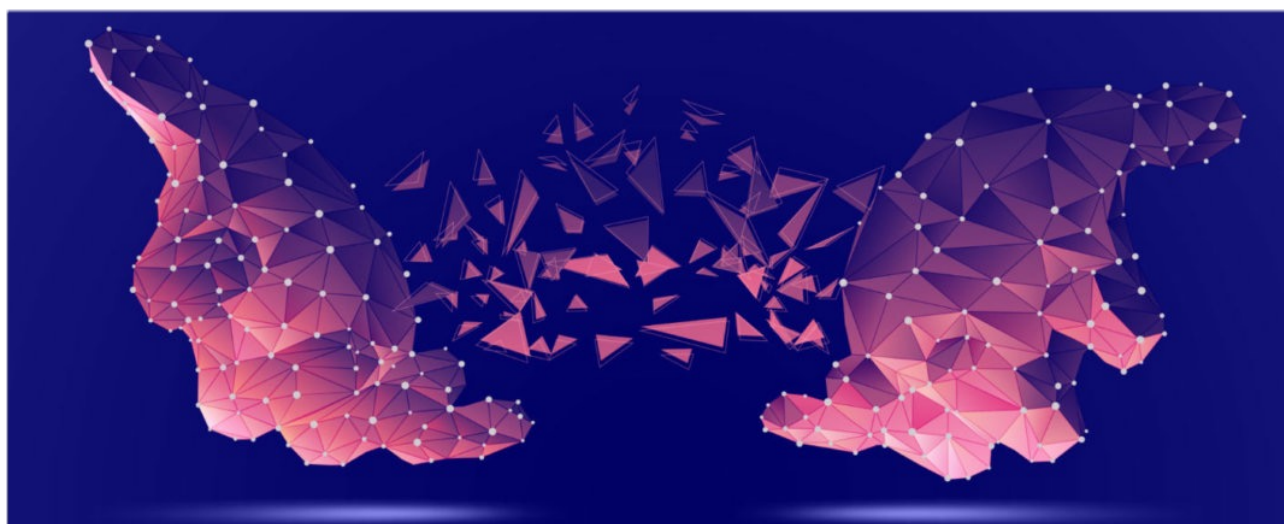
06. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Достижения в области научной измерительной аппаратуры (атомно-силовые микроскопы) и разработки в области компьютерного моделирования позволили ученым изучать материалы более подробно, чем когда-либо прежде. Сегодня появляются материалы с совершенно новыми свойствами: твердые тела с плотностями, сопоставимыми с плотностью воздуха; сверхпрочные легкие композиты; самовосстанавливающиеся материалы, которые могут запоминать свою форму; а также материалы, которые реагируют на свет и звук (The Economist, 2015).

Эпоха проб и ошибок в разработке материалов подходит к концу. Компьютерное моделирование материалов помогает понять, как они могут использоваться в продуктах. Желаемые свойства, такие как проводимость и коррозионная стойкость, могут быть преднамеренно встроены в новые материалы.

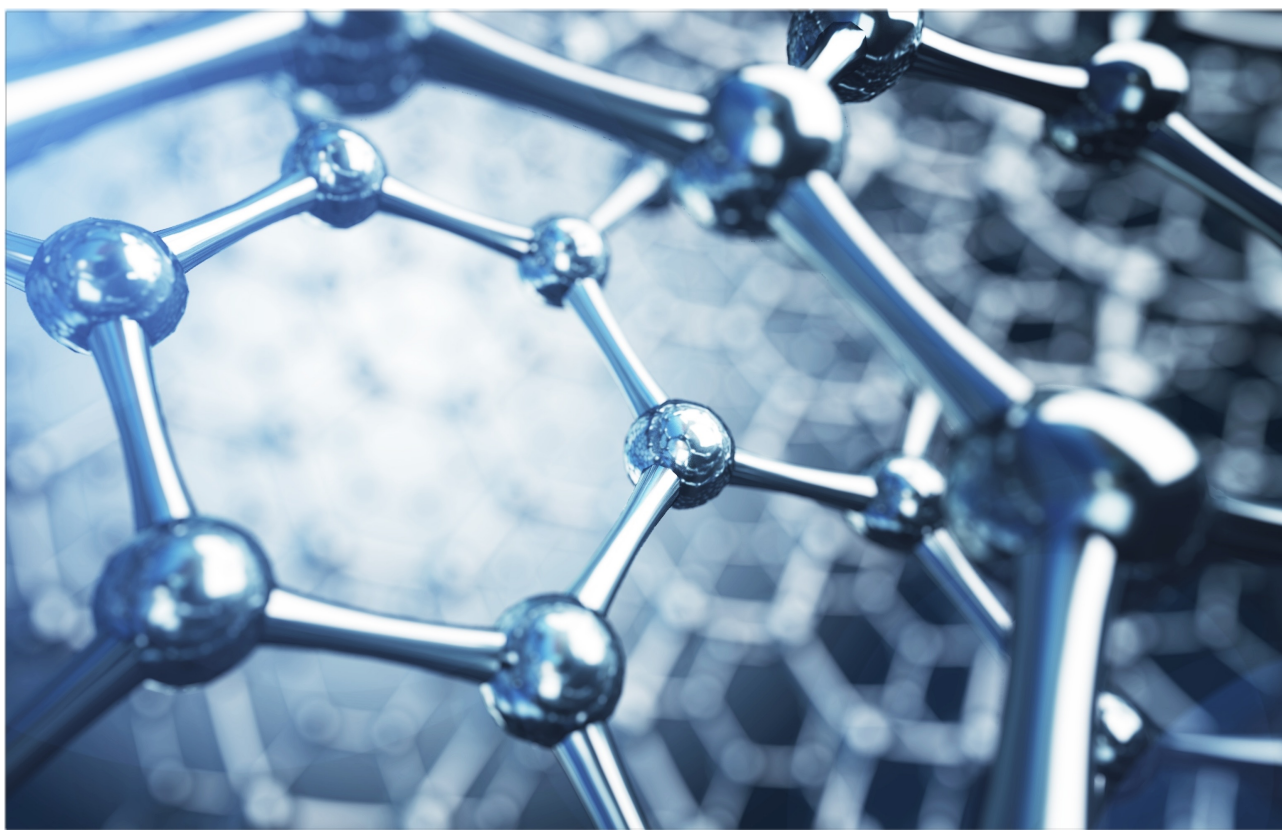
Качественные вычисления приводят к более быстрой разработке новых улучшенных материалов, позволяют внедрять существующие материалы в новые продукты и дают возможность улучшать существующие процессы.

В ближайшем будущем ожидается, что крупные компании будут все больше конкурировать в плане разработки материалов.



07. НАНОТЕХНОЛОГИИ

Нанотехнологии, тесно связанные с новыми материалами, включают в себя способность работать с явлениями и процессами, происходящими в масштабе от 1 до 100 нанометров (стандартный лист бумаги имеет толщину около 100 000 нанометров). Контроль материалов в наномасштабе является технологией общего назначения, которая применяется во всех производствах. Передовые наноматериалы все чаще используются в производстве высокотехнологичных продуктов, например при полировке оптических компонентов.



Нанотехнологии: конкретные стратегии

Для исследований в области нанотехнологий необходимы дорогие инструменты с узконаправленными характеристиками. Современное оборудование стоит несколько миллионов евро и часто требует спроектированных по индивидуальному заказу зданий. Почти невозможно создать инфраструктуру научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) в области нанотехнологий в одном институте или даже в одном регионе. Следовательно, нанотехнологии требуют межведомственного и/или международного сотрудничества, чтобы полностью раскрыть свой потенциал.

Директивные органы могут обеспечить доступ малых и средних предприятий (МСП) к оборудованию путем:



увеличения размера
исследовательских грантов для МСП



субсидирования или освобождения
от платы за услуги



предоставления МСП ваучеров на
использование оборудования

08. СКВОЗНЫЕ ВОПРОСЫ ПОЛИТИКИ

Развитие производственной базы включает в себя различные управленческие задачи, начиная от осуществления политики в отношении конкретных технологий, до разработки сквозных управленческих решений, относящихся ко всем соответствующим технологиям. Межсекторальная политика должна решать различные вопросы, такие как создание микроэкономических базовых условий, способствующих распространению технологий; строительство волоконно-оптических линий связи пятого поколения (5G); повышение уровня доверия к облачным вычислениям; и разработка систем образования и обучения для эффективного реагирования на меняющиеся потребности в навыках. В этом разделе рассматриваются только два сквозных вопроса политики: улучшение доступа к высокопроизводительным вычислениям и повышение осведомленности о них; и обеспечение государственной поддержки НИОКР.

Улучшение доступа к высокопроизводительным вычислениям

Высокопроизводительные вычисления становятся все более важными для фирм в различных отраслях, начиная от строительства до фармацевтики, автомобильного сектора и аэрокосмической промышленности. Например, авиастроительной компании Airbus принадлежит 3 из 500 самых быстрых суперкомпьютеров в мире. Две трети американских компаний, использующих высокопроизводительные вычисления, говорят, что «повышение производительности вычислительных моделей - это вопрос выживания в конкурентной борьбе» (US Council on Competitiveness. 2014). Применение высокопроизводительных вычислений в производстве также выходит за рамки проектирования и моделирования и включает в себя управление сложными производственными процессами в режиме реального времени. Финансовые показатели прибыли от использования высокопроизводительных вычислений чрезвычайно высоки среди европейских компаний (European Commission, 2016).

По мере того, как Индустрия 4.0 становится все более распространенной, спрос на высокопроизводительные вычисления будет увеличиваться, но, как и в случае с другими цифровыми технологиями, потенциал использования высокопроизводительных вычислений в производстве ограничен. Согласно одной из оценок, 8% американских производителей, в которых работает менее 100 человек, используют высокопроизводительные вычисления, однако половина обрабатывающих МСП потенциально могут использовать высокопроизводительные вычисления для создания прототипов, тестирования и проектирования (Ezell and Atkinson, 2016).

Внедрение суперкомпьютера в промышленность: возможные направления политики

- повысить осведомленность о случаях промышленного использования суперкомпьютера с учетом затрат и выгод
- разработать рекомендации в области высокопроизводительных вычислений для МСП и других промышленных пользователей
- обеспечить недорогое или бесплатное экспериментальное использование высокопроизводительных вычислений для МСП в течение ограниченного периода времени с целью демонстрации технических и коммерческих выгод
- создать онлайн-библиотеки программного обеспечения / центры обмена информацией
- оказать поддержку центрам высокопроизводительных вычислений с многолетним опытом работы в промышленности; оказание консультативной помощи центрам с меньшим опытом
- изменить критерии отбора проектов по высокопроизводительным вычислениям
- привлечь научное сообщество и промышленный сектор к совместному проектированию нового аппаратного и программного обеспечения
- включить высокопроизводительные вычисления в университетские учебные программы по научно-техническим дисциплинам
- изучить возможности для координации потребности в вычислительной аппаратуре, предоставляемой на коммерческой основе

Государственная поддержка НИОКР

Микроэлектроника, синтетическая биология, новые материалы и нанотехнологии, возникли благодаря прогрессу в научных знаниях и приборостроению. Финансируемые государством исследования в университетах и государственных исследовательских институтах зачастую чрезвычайно важны для ИИ.

Кроме того, поскольку сложность многих новых технологий производства превышает даже исследовательский потенциал крупнейших фирм, государственно-частные партнерства в области исследований имеют важное значение. Следовательно, снижение общественной поддержки научных исследований в некоторых основных отраслях экономики вызывает беспокойство.

Исследования и образование должны быть междисциплинарными

Междисциплинарные исследования необходимы для развития производства. Материаловедение, например, включает такие дисциплины, как традиционное материаловедение и инженерия, а также физика, химия, химическая инженерия, биоинженерия, прикладная математика, информатика и машиностроение.

Заключение

Освоение технологий следующей производственной революции требует эффективной политики в самых разных областях, включая цифровую инфраструктуру, навыки и права интеллектуальной собственности. Правительства также должны придерживаться долгосрочной перспективы при реализации программ исследований.

Государственные учреждения должны обладать пониманием многих быстроразвивающихся технологий.