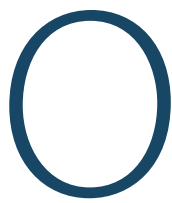


Большие маленькие технологии

Современный мир вступил в эпоху формирования VI технологического уклада, динамика которого будет определять глобальные экономические тенденции в течение 50–60 лет. Эксперты прогнозируют, что его ядро составят нано-, био-, генные, молекулярные, информационные технологии, космическая техника, тонкая химия. Заметим, что ведущее место в этом списке отводится нанотехнологиям, которые, вопреки своему названию и благодаря очевидным и доказанным преимуществам микромасштабирования, уже произвели революцию во многих отраслях экономики и, как ожидается, выведут на принципиально новые рубежи информатику, молекулярную биологию, геномную инженерию, квантовые технологии, медицину и пр. Есть все основания полагать, что человечество вступает в эру наноиндустрии – такие отрасли, как наноинженерия, наноинформатика, создание нанокomпьютеров, нанобиотехнологии, наномедицина, наноагро- и пищепром, становятся реальностью. На это указывает количество поданных в Американское патентное ведомство патентных заявок за последние 20 лет – около 175 тыс. при среднегодовом темпе роста 9,8%. Кроме того, эксперты считают, что мировой рынок нанотехнологий вырастет к 2028 г. до 183,7 млрд долл.



Огромное влияние на этот процесс оказывает наука. Только за последнее время за работы в области нанотехнологий было присуждено 3 Нобелевских премии: по физике (2007 г., 2010 г.) и по химии (2023 г.).

В первых двух случаях – за открытие эффекта гигантского магнетосопротивления, позволяющего производить запись данных на жестких дисках с атомарной плотностью информации, и опыты с двумерным графеном, а в третьем – за открытие и синтезирование так называемых квантовых точек – полупроводниковых наночастиц.

К этому стоит добавить инвестиционную привлекательность нанотехнологий, которые считаются одним из самых перспективных направлений для капиталовложений. Определились и первые лидеры отрасли, компании, чьи интересы простираются от схемотехники до дисплеев, здравоохранения и др. Крупнейший игрок – американская компания IBM, сыгравшая ключевую роль в нанотехнологиях с того момента, когда ее исследователи предложили рынку сканирующий туннельный микроскоп – инструмент, позволяющий визуализировать атомные структуры. Недавно она продемонстрировала миру чип, изготовленный по 2-нанометровому техпроцессу, способный улучшить многие технологии – от автономных транспортных средств до Интернета вещей. Среди фаворитов – американские фирмы Applied Materials, поставщик оборудования, услуг и программного обеспечения для производства полупроводниковых микросхем и плоскочисельных дисплеев с высоким разрешением, солнечных батарей, и Thermo Fisher Scientific, использующая нанотехнологии для выпуска широкого спектра научного оборудования и инструментов, реагентов и расходных материалов, что вывело ее на ведущие позиции на растущем рынке биофотоники – сегменте, объем которого может превысить 100 млрд долл. к 2027 г. Тайваньская компания по производству полупроводников TSMC, разработавшая технологию 22 нм магниторезистивной оперативной памяти, готовится в 2026 г. начать изготовление чипов по техпроцессу 1,6 нм. Это значительно увеличит плотность и вычислительную мощность процессоров. Нидерландская компания ASML Holding специализируется на литографическом оборудовании для микроэлектронной промышленности, необходимом в том числе для выпуска сверхбольших интегральных схем, флеш-памяти.

Быстрый рост в сфере нанотехнологий демонстрируют китайские производители, среди них Tsinghua Unigroup и China National Chemical

Corporation, чему в немалой степени способствует поддержка со стороны государства и частных инвестиционных фондов. Европейские лидеры в этой области – Германия, Франция и Великобритания – представлены такими компаниями, как BASF, Total и GlaxoSmithKline.

Нанотехнологии и компьютерная индустрия

Производство более миниатюрных и высокопроизводительных полупроводниковых устройств вошло в нанобласть еще в 2000 г. с появлением технологии 90 нм CMOS-топологии – свидетельство того, что наноэлектроника была одной из первых сфер, в которой начали использовать подход «системы атомов» для промышленного применения. Сегодня 14 нм металл-оксидные полупроводниковые полевые транзисторы меньше, чем вирусы, и являются основой блока коммутирующих элементов для всей современной наноэлектроники, обеспечивающей высокопроизводительные и мобильные вычисления. Хотя совсем недавно сложно было даже вообразить, что ноутбуки, мобильные телефоны и другие гаджеты станут такими производительными и легкими, как сегодня, это касается в том числе и интеллектуальных датчиков, наночипов, наноустройств хранения памяти, оптоэлектроники и пр.

Нанотехнологии позволяют создавать инновационные продукты за счет значительных изменений физико-химических, механических, магнитных, электрических и оптических свойств материалов. Развитие и совершенствование Интернета вещей (IoNT) открывает огромный потенциал для изделий телекоммуникационного, промышленного и медицинского назначения. Новый гиперфизический мир датчиков, программного обеспечения и других связанных технологий ускоряет распространение широкоформатной связи через интернет-устройства. Стоит отметить, что масштаб их использования варьируется от простого домашнего потребления до сложного промышленного.

Еще одно применение нанотехнологий в компьютерной и информационной индустрии – искусственный интеллект, машинное обучение и платформы больших данных, давшие толчок развитию Индустрии 4.0 и промышленного сектора. Благодаря им ускорилась автоматизация и точность в промышленности, что уже привело к снижению затрат и количества ошибок. Интегрированные области робототехники, Интернета вещей, искусственного интеллекта

и нанотехнологий часто называют Интернетом робототехники и нановещей, которые формируют новый сегмент – наноробототехнику, позволяющую существенно повысить эффективность и гибкость производственных процессов, скорость и точность в сравнении с традиционной робототехникой.

Трехмерная печать – еще один вектор развития наноконьютерной отрасли, обладающий преимуществами автономной, интегрированной, интеллектуальной сети для обмена информацией. Она вносит свои коррективы в промышленную инфраструктуру, сводит к минимуму операции постобработки, сокращает количество работающих, уменьшает отходы и потребление ресурсов. Более того, 3D-печать и подобные ей технологии открывают возможность для доступного производства штучных изделий, заточенных под конкретного потребителя. А это значит, что поточные процессы, скорее всего, уйдут в прошлое.

Нано- и биотехнологии

Нанотехнологии граничат с биотехнологией и иногда их трудно разграничить, поэтому научные и инженерные усилия многих стран направлены на то, чтобы ускорить развитие новых прорывных решений в области здравоохранения, материаловедения и других областях. Уже сегодня создаются нанодисперсные формы пищевых веществ, наноинкапсуляты и наномицелляты, пищевые добавки с улучшенными функциональными характеристиками. Производятся новые виды упаковочных материалов, увеличивающие срок годности продуктов питания, обладающие повышенными газо-, фотобарьерными и антимикробными свойствами. Стимулируют эти разработки как рост населения во всем



Источник: <https://nano.tu-dresden.de/lecture/15>

мире, так и обеспокоенность человечества относительно безопасности и полезности продовольствия.

Ученые добиваются устойчивого повышения урожайности сельскохозяйственных культур без чрезмерного использования пестицидов и удобрений. Датчики и диагностические устройства становятся незаменимыми помощниками для мониторинга качества пищевых продуктов, выявления контрафакта, выводя таким образом противодействие недобросовестной конкуренции на новый уровень. Велика роль исследований, направленных на интеграцию ферментации и нанотехнологий, позволивших разрабатывать биосовместимые, безопасные и нетоксичные вещества и наноструктуры с широким спектром применения в пищевой, перерабатывающей и винодельческой отраслях.

Оказали свое положительное влияние нанотехнологии на управление токсичностью. Так, обычные методы мониторинга пищевых продуктов постепенно заменяются теми, что применяют современные наноматериалы, такие как нанопроволоки, нанокompозиты, нанотрубки, наностержни, нанолисты и др., которые выполняют функцию иммобилизации и маркировки компонентов. Детектирование веществ проводится на молекулярном, диагностическом и иммунологическом уровнях, а также электрохимическом и оптическом. Материалы, начиная от тяжелых металлов и заканчивая микроорганизмами, пестицидами, аллергенами и антибиотиками, могут легко контролироваться еще на стадии переработки.

Активно применяются ДНК-технологии, позволяющие выявлять гены, ассоциированные с хозяйственно ценными признаками, устойчивые к стрессам, инфекционным болезням, а также генам-носителям рецессивных мутаций – генетическим аномалиям. В целом объединение достижений нанотехнологии и молекулярной биологии называют нанобиотехнологией, поскольку речь идет о создании устройств на основе биологических макромолекул с целью изучения или управления биологическими системами. В ней широко используется способность биомолекул к самосборке в наноструктуры. Так, например, липиды могут спонтанно объединяться и формировать жидкие кристаллы. При этом ДНК применяются не только для создания наноструктур, но и в качестве важного компонента наномеханизмов. По мнению ученых, нанобиотехнологии существенно упростят и ускорят решение традиционных проблем генетики и селекции сельскохозяйственных растений – их

устойчивости к насекомым-вредителям и сорной растительности.

Нанотехнологии преобразовали процесс биокомпостирования, задействовав в переработке отходов микроорганизмы, что повысило скорость утилизации. Кроме того, ученые работают над созданием биосовместимых нанокомпозитов с улучшенными свойствами, обладающих более низкой токсичностью, антимикробной активностью, термостойкостью и ускоренным биоразложением. Эти разработки отвечают интересам человека и служат охране окружающей среды, поскольку органические отходы перерабатываются в питательные вещества, которые можно использовать в сельском хозяйстве. Развитие, распространение и интеграция нанотехнологий с пищевой промышленностью позволили создать большое количество устойчивых, безопасных и здоровых пищевых продуктов как для человека, так и для животных за счет применения нанокапсуляции. Созданные технологии повышают защитные характеристики и чувствительность биоактивных ингредиентов, предотвращая при этом их нежелательное взаимодействие с другими компонентами, улучшая профили биологической активности и растворимости нанопродуктов, принося пользу для здоровья человека. Однако многие из них находятся на ранней стадии разработки и требуют проведения дальнейших исследований, в том числе на предмет оценки токсичности и безопасности наноматериалов.

Нанотехнологии и АПК

В сельском хозяйстве нанотехнологии ускорили процесс внедрения технологии точного земледелия, что сказалось на условиях усвоения питательных веществ растениями, позволило заблаговременно обнаруживать их болезни. Удобрения после введения в них наноглины и цеолитов становятся более эффективными с точки зрения их влияния на плодородие почвы. Современные концепции умных семян для повышения их урожайности также основаны на использовании нанополимерных смесей. Новые покрывающие соединения защищают семена от различных опасностей окружающей среды, почвенных грибков, вредителей, низких температур почвы, ускоряют прорастание. Гербициды, пестициды, фунгициды и инсектициды совершенствуются благодаря нанотехнологиям. Многие исследования показали, что наноматериалы, такие как оксид меди, оксид цинка, гидроксид и оксид магния, также эффективны против вредных насекомых. Велика вероят-



Нанопестициды могут стать альтернативой обычным инсектицидам

Источник: www.azonano.com

ность их применения для модернизации птицеводства и животноводства – к примеру, в части обработки и дезинфекции. Развивается направление насыщения пищевого сырья биоактивными компонентами – витаминами в виде наночастиц.

Нанобиотехнологии широко применяются для борьбы с пищевыми патогенами в птицеводстве, такими как *Salmonella* и *Campylobacter*, сохраняя при этом доступность, безопасность и увеличивая срок годности производимых продуктов из мяса птицы.

Ионообменные наносубстраты играют важную роль на стыке нанотехнологий и биотехнологий, обеспечивая высокую производительность и селективность в различных приложениях. Они нашли применение в биосепарации и очистке таких биомолекул, как ферменты, белки, нуклеиновые кислоты; в качестве чувствительных элементов в биосенсорах для детектирования ионов, биомаркеров и других аналитов, иммобилизации ферментов и катализаторов, удаления тяжелых металлов, радионуклидов и других загрязнителей из водных сред.

Наносеребро, наномедь широко используются в фильтрах и других деталях оборудования молочной промышленности для ингибирования процессов брожения и скисания молока, дезинфекции сельскохозяйственных помещений, инструментов, при упаковке и хранении молочнокислой продукции.

Нанотехнологии и упаковочная промышленность

Упаковочная индустрия также пополняет свои достижения за счет наноматериалов. Разрабатываемые для пищевых продуктов нанокомпозиты

могут включать средства против слеживания, нанодобавки, системы доставки нутрицевтиков и многое другое. Наномасштабные компоненты, примененные при производстве материала для упаковки, повышают ее механическую стабильность и улучшают термические и барьерные свойства. Интеграция наносенсоров и наноиндикаторов в упаковку пищевых продуктов позволяет контролировать сохранение свежести или загрязнение продукта микроорганизмами, вызывающими его порчу, патогенными микроорганизмами, аллергенами или токсинами в процессе транспортировки и хранения. Важно отметить, что нанотехнологии проникают и в другие отрасли, такие как текстильная, кожевенная и косметическая промышленность, и сулит им большие выгоды.

Нанотехнологии и строительство

С внедрением наноматериалов в этот сектор во многом связывают и его эффективность. К примеру, введение диоксида кремния в цемент влияет на такие его характеристики, как сжимаемость, прочность текстуры и пористость, благодаря чему он поглощает меньше воды по сравнению с традиционными цементирующими веществами. Такой подход помогает уменьшить количество цемента в бетоне, делая его более экономичным и экологически чистым, известным как «зеленый бетон». Помимо этого, революционные нанотехнологии применяются в таких материалах, как сталь, стекло, бумага, дерево и др. Наночастицы аэрогеля, имеющие очень низкую теплопроводность, включают в изоляционные материалы, чтобы снизить потери тепла и улучшить энергоэффективность зданий. Наночастицы металлов или оксидов вводятся в краски, покрытия, изоляционные материалы, повышая их устойчивость к коррозии. Некоторые наноматериалы обладают гидрофобными или гидрофильными свойствами, которые могут создавать поверхности, отталкивающие воду или способные легко смывать загрязнения. Это может быть полезным для создания самоочищающихся окон, фасадов или кровельных материалов. На рынке уже появились изоляционные и интеллектуальные оконные технологии – вакуумные изоляционные панели, материалы с фазовым переходом, обеспечивающие высокий теплоизоляционный эффект, экономию энергии и улучшающие качество воздуха в домах.

Нанотрубки, в том числе углеродные и глиноподобные, используются для модификации резино-

вых смесей, применяемых в шинной индустрии, что позволяет повысить их эксплуатационные характеристики – прочность, износостойкость и сцепление с дорожным покрытием, термостойкость и сопротивление старению шин.

Некоторые из характеристик нанопродуктов используются для усиления структурного состава материалов, в том числе огнестойкости, вяжущих качеств, звукопоглощения, повышения отражательной способности поверхностей.

Ученые работают над созданием микроинкапсулированных заживляющих полимеров, обладающих «целебными» свойствами, способствующими устранению трещин в зданиях. Такой материал, как сталь, исследуется на предмет изменения его конструктивных характеристик: коррозионной стойкости, свариваемости, простоте использования при проектировании и строительных работах. Точно так же углеродные нанотрубки, наностержни и нановолокна все чаще заменяют материалы из стали. Эти наноструктуры вместе с образованиями наноглины повышают механические свойства материалов и таким образом прокладывают путь к новой отрасли гражданского строительства с точки зрения наноинженерии. Кроме того, наноструктуры диоксида титана, цинка и других металлов используются для производства фотокаталитических продуктов со встроенными антипатогенными, самоочищающимися, водо- и микрооботалкивающими технологиями. Аналогичным образом технологии квантовых точек начали применяться для производства фотоэлектрических элементов, что способствует рациональному накоплению солнечной энергии.

Нанотехнологии и транспорт

Современное автомобилестроение является одной из самых новаторских отраслей промышленности, а нанотехнологии и наноматериалы – инструменты, которые могут существенно изменить подходы к производству автотранспорта. Буквально каждый узел или деталь в конструкции автомобиля может быть в значительной степени усовершенствован при их помощи. Уже разработаны силикатные нанокompозиты на основе нейлона-6, термопластичных олефинов, каучуковые и биоволокнистые нанокompозиты, биопенопласты, углерод-полимерные нанокompозиты с использованием нанотрубок, нанокрасители, отталкивающие грязь с поверхности облицовки, самоочищающиеся и противообледенительные составы, а также многофункциональные наноуглепластики с плотностью 400 кг/м³,



Концепт-кар BMW i Vision Dee (выставка CES 2023) использует технологию E-Ink для изменения цветов и добавления узоров с помощью различных электрических зарядов

Источник: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/driving-future-nanotech-auto-electronics>

позволяющие изменять первоначальный цвет окраски по желанию потребителя. Автомобили, в которых используются изготовленные с применением нанотехнологий детали, демонстрируют более длительный срок службы, а в перспективе будут обладать свойствами «саморегенерации» – возможностью самоустранять дефекты, получаемые в процессе эксплуатации. Хотя первоначальные инвестиции в наноавтоматизированную индустрию очень высоки, тем не менее и ожидаемые результаты могут стать более впечатляющими. В основном это касается производства автомобильных деталей и расходников – двигателей, красок, материалов покрытий, подвесок, тормозов, смазки и выхлопных систем. Использование нановинок повлияет на вес автомобилей, их износостойкость, потенциал скольжения, долговечность покрытия. Все это в конечном счете сократит затраты, снизит себестоимость и расширит ассортиментный ряд автомобилей будущего. Наноразмерные датчики и системы связи расширят возможности автономного вождения, повышая его безопасность и эффективность. Точно так же разработка суперконденсаторов все чаще основывается на нанотехнологиях. Резиновые наполнители, каркасы из конструкционных композитных материалов на базе высокопрочных волокон – углеродных нанотрубок, наноэлектронных компонентов, нанотекстиля и нанопокровов для интерьера и экстерьера автомобиля, наносенсоров – лишь некоторые из нанотехнологических новинок. Благодаря им предприятия отрасли быстро развиваются. Среди лидеров – финская компания Nanocomp, ведущий производитель усиленных нановолокнами пластиковых композитов, обладающих высокой прочностью и легкостью, для создания кузовных панелей и деталей подвесок.

Американская фирма QuantumSphere занимается разработкой наноматериалов и наноэлектродов для аккумуляторов, а Nanosonic специализируется на выпуске покрытий с улучшенными свойствами антикоррозии и защиты от износа. Чикагская компания Nanosteel – ведущий разработчик умных материалов для автопрома. Созданные ею наностали обладают высокой прочностью и устойчивостью к износу, что позволяет выпускать более легкие и безопасные автомобильные конструкции. Американская компания NanoMech – создатель прорывных наноинноваций для улучшения трения и износостойкости, а также наномасел и наножидкостей. Ожидается, что нанотехнологии будут играть ключевую роль в формировании будущего автомобильной отрасли, способствуя созданию более экологических и энергоэффективных транспортных средств благодаря достижениям в области хранения энергии и аккумуляторных технологий. Еще более интересно будущее автомобильной электроники, которое за счет нанотехнологий может создать более устойчивую, связанную и визуально привлекательную транспортную экосистему.

Нанотехнологии и возобновляемые источники энергии

Считается, что возобновляемые источники энергии решат многие экологические проблемы современности, и нанотехнологии все активнее будут проникать в производство солнечной, водородной, био- и геотермальной энергии и энергии приливных волн. Существует немало исследований и приложений, которые включают наноинженерию плоских солнечных пластин, пластин прямого поглощения, параболических желобов, волнистых пластин и тепловых трубок. В большинстве этих устройств для сбора солнечной энергии используются наножидкости, играющие решающую роль в повышении их эффективности. К примеру, наночастицы в солнечных коллекторах прямого поглощения позволяют повысить паропроизводительность по сравнению с кипением базовой жидкости. Но говорить об этом пока рано.

По мнению исследователей, нанотехнологии могут увеличить доступную мощность аккумулятора и сократить время зарядки и вес. Эти преимущества, например, могут достигаться покрытием поверхности электрода наночастицами. Применение наноматериалов может увеличить срок службы батареи («зарядки-разрядки»), препятствуя ее разрядке. Необычайная электропроводность

наночастиц, таких как углеродные нанотрубки, может применяться при изготовлении электрических кабелей и линий электропередачи.

Ученые научились внедрять кремниевые наночастицы в графен, выращивая кремниевые нанопроволоки на подложке из нержавеющей стали. Батареи, использующие электроды из таких материалов, могут в 10 раз повысить плотность энергии обычных литий-ионных накопителей энергии. В долгосрочной перспективе ожидается существенный вклад в устойчивое энергоснабжение и глобальную политику защиты окружающей среды.

Нанотехнологии и деревообрабатывающая промышленность

Нанотехнологии затронули производство биоразлагаемых материалов, бумажной, целлюлозной продукции, мебели, консервантов для древесины, древесных композитов и материалов на основе лигноцеллюлозы. Одним из путей их применения в деревообработке являются наноматериалы, полученные из древесины. Целлюлоза в наноформе широко используется в таких отраслях, как электроника, сенсорные технологии, пищевая, медицинская и косметическая промышленность. Более того, ее функциональные характеристики – долговечность, поглощение УФ-излучения, огнестойкость и снижение впитываемости биоразлагаемых продуктов – могут улучшаться за счет наноматериалов, таких как наноксид цинка или наноксид титана. Аналогичным образом применение наноинкапсулированных консервантов повышает качество пропитки древесины с увеличением проникновения применяемых химикатов и снижением эффекта выщелачивания. Различные формы наноцеллюлозы предлагаются в качестве пищевых ингредиентов для включения как в продукты массового потребления, так и в специализированную диетическую, профилактическую и лечебную пищевую продукцию. Добавки на основе наноцеллюлозы предлагаются в качестве натурального эмульгатора и стабилизатора в заправки для салатов, молочные продукты, мороженое и хлебобулочные изделия, для замещения высококалорийных ингредиентов. Целлюлозные наноматериалы обладают нанофибрилярными структурами, которые можно применять в строительстве, мебельной, фармацевтической и других отраслях. Появляются исследования, в которых прогнозируются многообещающие результаты их использования при производ-

стве нановолокна, наноуплотнителей, наноэмульсий, нанокомпозитов. Однако существует несколько факторов, сдерживающих внедрение в практику контактирующих с организмом человека изделий из наноцеллюлозы: недостаточная изученность ее биологического действия в сочетании с рисками, вызываемыми возможными остаточными количествами химикатов и биохимических реагентов, бактериальных токсинов, ферментных препаратов и микроорганизмов-продуцентов в ее составе.

Нанотехнологии и безопасность

Бесспорно, нанотехнологии прямо или косвенно проникли практически во все отрасли экономики. Но пока эксперты далеки от объективных оценок потенциала и рисков, в том числе влияния нанотехнологий на конфиденциальность и безопасность. Проводить такие исследования достаточно сложно, ибо они касаются широкого спектра новых областей: nanoизготовления, наносборки, информационных технологий, включая наноэлектронные системы и искусственный интеллект, нанобиотехнологии, нанофармацевтики и нанотерапии. Поэтому так важен надежный и ответственный подход к нанотехнологиям, требующий изучения этических аспектов и учета потенциальных неблагоприятных последствий для человеческого здоровья и окружающей среды. Он необходим для выработки нормативно-правового базиса, на котором будет формироваться траектория наилучшего развития нанотехнологий во избежание их злонамеренного применения, особенно в сфере национальной и международной безопасности. Хочется верить, что ученые ответственно подойдут к изучению возможностей и рисков, связанных с нанонаукой. ■

Жанна КОМАРОВА

Подготовлено по материалам сайтов
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9865684/>,
<https://connections-qj.org/ru/article/nanotechnologii-i-globalnaya-bezopasnost>