

Учебно-методические и презентационные  
материалы

**Модные направления  
современной  
робототехники — мягкие  
роботы**

Робототехника — увлекательный мир науки, который таит в себе множество загадок. Не так давно искусственный интеллект, технологии распознавания лиц, автомобили на автопилоте и программируемые конструкторы казались фантастикой, а в наши дни эти технологии уже используются в повседневной жизни.

Роботы, выполняя функции человека при взаимодействии с окружающим миром, вошли в наше общество с огромной скоростью и, будучи призванными сделать жизнь человека более комфортной, улучшить условия труда, освободить «руки» от сложных рабочих процессов и увеличить производительность, сегодня демонстрируют высокий уровень развития, взаимодействуя с нами, общаясь на своём машинном языке, понимая наши жесты и эмоции.

И хотя в наши дни сложно удивить кого-то разными видами роботов (робот-промоутер, робот-консьерж, робот-экскурсовод, робот-диагност, робот-пылесос, робот-газонокосилка, селфи-дроны) на нынешнем этапе внимание учёных приковано к такому направлению, как «мягкая робототехника», что является остроактуальной тенденцией последних лет. Эксперты прогнозируют, что уже к 2024 году их рынок достигнет 2,16 млрд \$, несмотря на то, что множество исследований в области мягких роботов сейчас находится на начальных стадиях.

Мягкая робототехника — это уникальная область робототехники, которая занимается конструированием роботов из материалов с высокой степенью совместимости, подобных тем, которые встречаются в живых организмах.

Интерес к «мягким» роботам растёт в геометрической прогрессии, что вполне оправдано, поскольку это роботы нового типа, способные выполнять значительно большее количество функций, чем их твердотельные собратья, при этом изготовление и эксплуатация «мягких» роботов может быть гораздо выгоднее. Вместе с тем мягкая робототехника во многом зависит от того, как живые организмы перемещаются и адаптируются к своему окружению.

Особенностью «мягких» роботов является то, что сделаны они из податливых материалов, таких как силикон и других полимеров, а не из металла, что придаёт роботам органические характеристики, копируя работу мышц и позволяя им двигаться и выполнять работу вместо человека, которая не под силу машинам, построенным из жёстких материалов. Мягкие роботы обеспечивают повышенную гибкость и адаптируемость для выполнения различных задач, а также повышенную безопасность при работе с людьми, что позволяет применять их в медицине и производстве.

Следует отметить, что мягкая робототехника в основном конструирует роботов полностью из мягких материалов, в том числе и из наноматериалов, что делает их похожими на таких беспозвоночных, как беспанцирные моллюски, черви и осьминоги. Моделирование движения таких роботов — сложная задача, поскольку для таких процессов необходимо применять методы механики сплошной среды, что открывает необычные и потенциально очень широкие возможности для применения мягкой робототехники: и как самостоятельных, полностью мягких машин, и как элементов робототехнических устройств, сочетающих в себе мягкие и «традиционные» жёсткие части.

Мягкие роботы, созданные по образу и подобию живых организмов, необходимы учёным для изучения биологических явлений и проведения экспериментов, которые сложно выполнять на настоящих организмах. Мягкие конструкции также могут быть использованы как часть более крупного жёсткого робота. Мягкие эффекторы роботов для захвата и манипулирования объектами обеспечивают преимущество при работе с уязвимыми объектами. Перспективным является направление создания гибридных мягко-жёстких роботов, у которых есть внутренний жёсткий каркас и внешние мягкие элементы, которые могут быть многофункциональными, реализуя как воздействующие механизмы аналогичные мышцам животных, так и смягчающие материал для обеспечения безопасности при столкновении с человеком.

Первый мягкий робот Octobot был разработан в 2011 году профессором Гарварда Джорджем Уайтсайдсом (рисунок 1).



Рисунок 1 — Первый мягкий робот Octobot

Уникальность данного робота состояла в том, что был изменён подход к его созданию. Вместо традиционной электроники учёные использовали методы микрофлюидики для постройки простой логической схемы, отвечающей за попеременную подачу давления в пневматические контуры. При изготовлении мягкого корпуса использовалась мягкая литография и 3D-печать. Разработчики робота отказались и от традиционных источников питания, заменив их «топливом», в качестве которого используется раствор пероксида водорода. С помощью платинового катализатора раствор разлагается на водяной пар и газообразный кислород. В результате газ поступает в пневматический контур и приводит в движение нужные актуаторы, а излишки давления сбрасываются через выпускной клапан.

В результате получился робот-осьминог, который может периодически самостоятельно двигать своими щупальцами.

С тех пор количество и типы мягких роботов резко возросли, как и сферы, в которых они находят применение.

## Сферы применения мягких роботов

Применение мягкой робототехники является весьма перспективным для сельского хозяйства (рисунок 2, рисунок 3), в частности, для тех видов работ, которые связаны со сбором «хрупких» культур, например, ягод, что требует особой осторожности (отделение ягоды без повреждения растения и её самой).



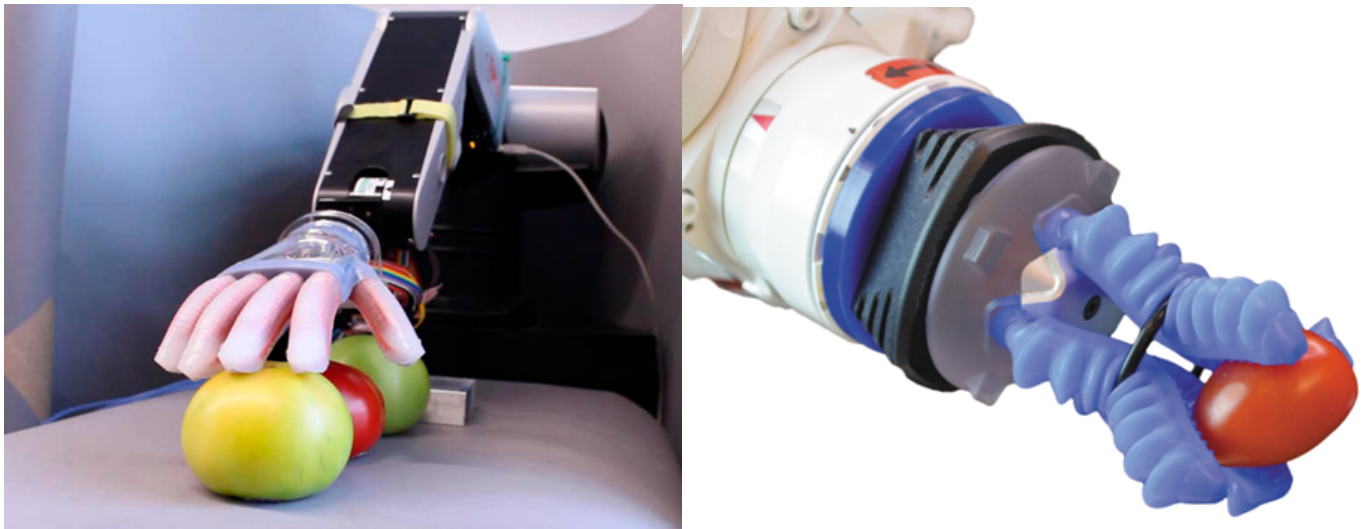


Рисунок 2 — Захват с мягкими элементами Soft Robotics Inc

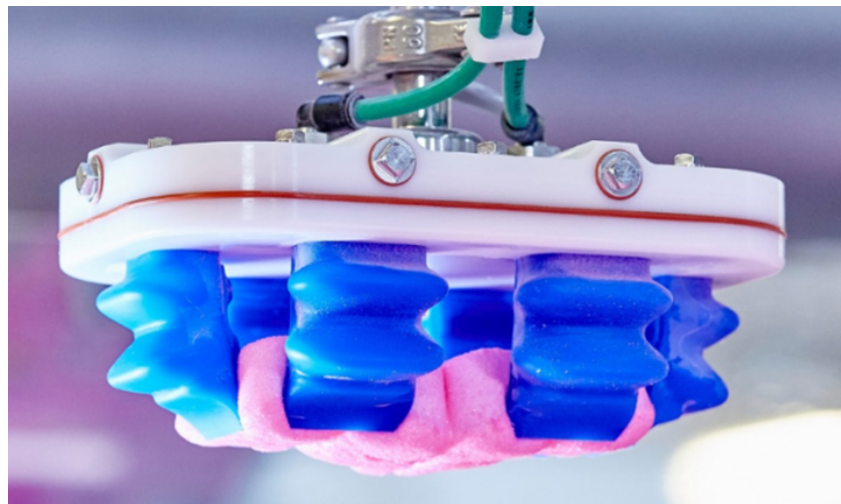


Рисунок 3 — Мягкий робот-«хвататель» Soft Robotics Inc

Ещё одна сфера применения мягких роботов — космические исследования.

В Национальном управлении по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) работают над созданием устройств из силикона, которые можно будет использовать для изучения жизни на других планетах. Они печатаются на 3D-принтере и оснащены камерами и трубками, которые при поступлении воздуха приводят конструкцию в движение

Одной из самых перспективных сфер для применения мягких роботов является медицина, в том числе минимально инвазивная хирургия. В этом случае хирургическое вмешательство осуществляется через один или несколько небольших разрезов с использованием камер. Преимущество таких операций заключается в том, что они снижают риск развития осложнений и занесения инфекций, а также сокращают период восстановления. Однако врачи вынуждены использовать жёсткие и полужёсткие инструменты, которые ограничивают их возможности.

Мягкие роботы могут использоваться в качестве хирургических и медицинских инструментов (в частности эндоскопов) в силу существенного преимущества — они перемещаются по структурам тела более легко, чем это могут делать традиционные инструменты, что даёт врачам более чёткое представление о той области тела пациента, которая подлежит исследованию.

Полностью мягкая роботизированная одежда, которая может помочь людям передвигаться, стала на шаг ближе к реальности благодаря разработке новой гибкой и лёгкой системы питания для мягкой робототехники.

Заимствуя методы, используемые для производства оптических волокон, исследователи из EPFL и Имперского колледжа создали мягких роботов на основе волокон с усовершенствованным управлением движением, которые объединяют в себе другие функциональные возможности, такие как электрическое и оптическое зондирование и целевая доставка жидкостей.

Объединив достижения в разработке функциональных волокон с разработками в области интеллектуальной робототехники, исследователи из Лаборатории фотонных материалов и волоконных устройств Инженерной школы EPFL создали многофункциональных мягких роботов в форме катетеров (рисунок 4), которые могут дистанционно направляться к месту назначения или, возможно, даже самостоятельно находить дорогу благодаря полуавтономному управлению.

Открытие, сделанное группой из Бристольского университета, может проложить путь к носимым вспомогательным устройствам для людей с ограниченными возможностями и людей, страдающих возрастной дегенерацией мышц.

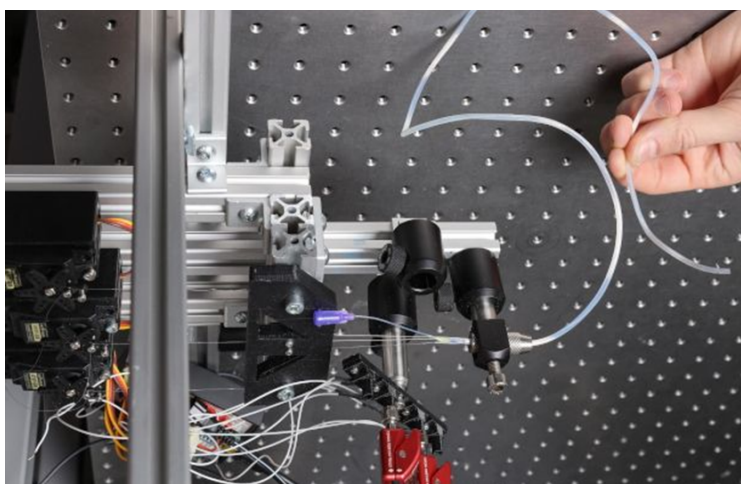


Рисунок 4 — Мягкие роботы в формате катетеров

Британские инженеры разработали метод создания логических схем для роботов, состоящих в основном из мягких компонентов. Они предложили объединять гибкие провода и электроды с мягкими трубками, частично заполненными проводящей жидкостью. Проходя через область с электродами, жидкость замыкает цепь. Используя этот принцип, инженеры создали несколько базовых логических схем, а также простых роботов на их основе.

Исследователи из Института интеллектуальных систем Общества Макса Планка использовали способность панголинов быстро сворачиваться в шар для проектирования мягких роботов. Устройства, состоящие из мягких и твёрдых компонентов, быстро принимают сферическую форму и могут при необходимости излучать тепло. Они подойдут для использования в медицине.

Исследователи представили конструкцию робота (рисунок 5) длиной около 2 см, состоящую из двух слоёв: мягкого слоя из полимера, усыпанного мелкими магнитными частицами, и жёсткого компонента из металлических элементов, расположенных в перекрывающихся структурах. Хотя робот изготовлен из цельных металлических компонентов, конструкция, сходная с панголинами, делает его мягким и гибким.

Когда робот подвергается воздействию низкочастотного магнитного поля, он сворачивается в клубок, чешуйками наружу. Управляя полем, исследователи могут перемещать робота, что в будущем позволит его использовать, например, для доставки лекарств, перемещая робота внутри организма по пищеводу.

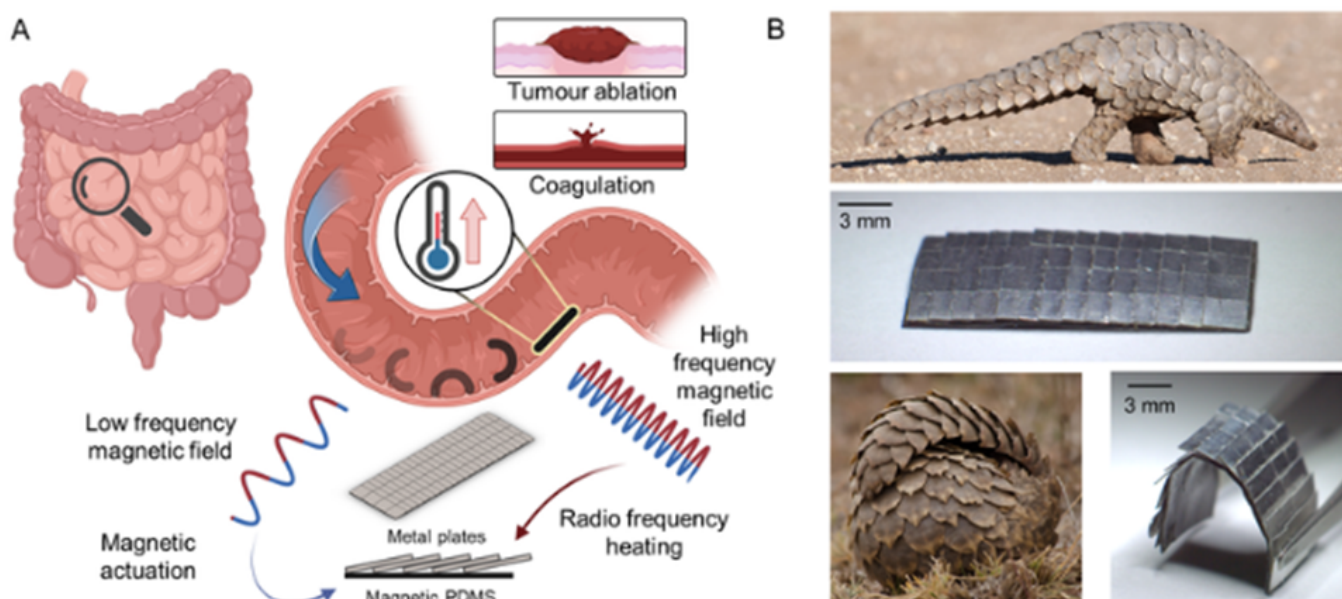


Рисунок 5 — Мягкий робот-«панголин»

Под воздействием высокочастотного магнитного поля активируется дополнительная функция. Металлические компоненты робота нагреваются до температуры около 70 °С. Тепловое воздействие также может быть полезно в медицине: например, оно используется для лечения тромбоза, остановки кровотечения и удаления опухолей.

Помимо проведения операций, мягкие роботы могут использоваться для обследования и восстановления внутренних органов, реабилитации функций верхних и нижних конечностей. Уже изобретены роботизированная перчатка для хватания предметов и экзоскостюм, облегчающий процесс ходьбы и бега.

Против тромбоза собираются применять свою разработку российские учёные из университета ИТМО в Петербурге. По словам создателей, робот из мягкого композита содержит магнитные частицы, что и позволяет вести его по сосудам, а пластичность материала позволяет менять форму для разных целей. Робот уже успешно выдержал испытания «в пробирке» и готовится к доклиническим исследованиям.

Учёные из Университета Ватерлоо (Канада) представили мягкого робота, вдохновившись гекконами и гусеницами (рисунок 6). В будущем подобные роботы будут помогать в хирургических операциях, в операциях МЧС или в иных условиях, так как они отлично удерживаются и перемещаются по вертикальным поверхностям и даже вниз головой по потолкам, при этом самое невероятное заключено в конструкции робота – для выполнения описанных выше действий он не нуждается в питании, так как оно внешнее и реализовано без проводов.

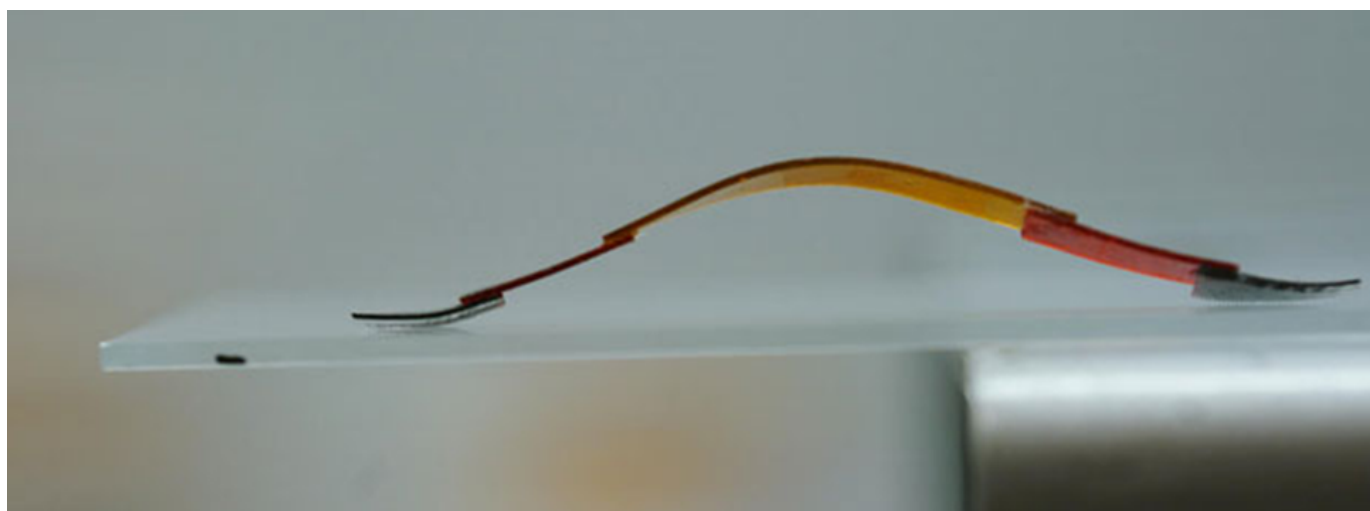


Рисунок 6 – Мягкий робот-гусеница



Прототип ползающего робота представлен моделью длиной 10 см и шириной 3 мм. Робот может, как геккон, постепенно отлеплять лапку и переносить корпус вперёд для продвижения, при этом на стекле и других поверхностях «лапка» робота удерживается благодаря ван-дер-ваальсовым силам межмолекулярного взаимодействия, которое возникает между микроскопическими частями «лапок» и поверхности.

Уникальность разработки — внешнее управление сокращением корпуса робота и процессом отцепления «лапки» и последующего её удержания на новом месте. Корпус — мягкая спинка и обе лапки — изготовлены из эластомера с наполнением жидкими кристаллами, чувствительными к ультрафиолетовому излучению. УФ-свет заставляет корпус изгибаться подобно спине гусеницы во время движения. Магнит не даёт лапкам оторваться от поверхности в такие моменты до того, как подушечки на лапках не войдут в тесный контакт с поверхностью и не закрепятся там.

Чередую направление УФ-прожектора и места подвода электромагнитного поля, учёные заставляют робота как гусеницу двигаться по маршруту. Бесконтактное питание движителей позволит передвигаться, например, миниатюрному медицинскому роботу по кровеносным сосудам человека или в иных труднодоступных местах тела для проведения тонких операций. Роботы большего масштаба смогут помочь в чрезвычайных ситуациях для проникновения в аварийные зоны.

Команда инженеров из Университета Глазго (Шотландия) создала мягких роботов-червей, которые могут вытягиваться так, что становятся в девять раз больше своей длины. Кроме того, они наделены «мышечным чувством» – проприоцепцией, то есть воспринимают положение частей своего тела в пространстве. Это свойство биологических организмов впервые продемонстрировано в мягкой робототехнике и позволяет роботам-червям протискиваться в узкие места, недоступные для их жёстких собратьев.

Длина роботов – примерно 4,5 см. «Черви» покрыты кожей из эластичного пластика Esoflex и графитовой пасты. Датчики внутренней деформации на коже помогают роботам «ощущать» свои движения за счет измерения электрического сопротивления графитовой пасты, которое меняется при расширении тел. Когда сопротивление достигает заданного максимального значения, тело сокращается, тем самым перемещаясь вперед. Магниты, прикрепленные к концам трубчатых тел «червей», позволяют роботам передвигаться по металлической поверхности.

Данная разработка может привести к появлению нового поколения роботов, которые будут востребованы в горнодобывающей промышленности, строительстве или при стихийных бедствиях — для поиска выживших под завалами. Технология также может быть использована для разработки более реалистичных протезов или для оснащения роботов способностью оборачиваться и поднимать тяжёлые предметы неправильной формы.

Глубины океанов по-прежнему остаются одной самых недоступных территорией на Земле, в силу чего подводные аппараты для их исследований требуют водонепроницаемых корпусов из прочных металлических материалов, толщину стенок которых приходится значительно увеличить, чтобы они могли выдержать колоссально высокое давление.

Вместе с тем на глубинах в несколько километров обитают мягкие организмы, выживающие без жёстких оболочек, а именно рыб из семейства липаровых наблюдали учёные на глубине около восьми километров. Одна из особенностей этих рыб — строение скелета, который не до конца окостеневший и частично состоит из хрящевой ткани, а череп имеет несплошное строение и частично открыт. В новом роботе, созданном Чжэцзянским университетом и лабораторией Чжэцзянского научно-исследовательского института, хрупкие электронные компоненты встроены и распределены также в мягком силиконе, что позволило реализовать конструкцию, которая не требует применения устойчивых к высокому давлению корпусов.

Оригинальный робот (рисунок 7) выполнен в форме рыбы и имеет два машущих боковых плавника. Авторы разработки использовали хорошо зарекомендовавший себя механизм управления взмахами: плавники прикреплены к «мышцам» тела робота, которые сделаны также из мягкого материала, способного преобразовывать электрическую энергию в механическую работу — когда электрический ток от батареи робота подаётся на мышцы, они сокращаются. Крошечные приводы механически соединяют сокращающиеся мышцы с плавниками, заставляя их взмахивать.



Рисунок 7 – Мягкий робот-рыба

Во время исследований была впервые протестирована способность робота к плаванию, в камере с водой под высоким давлением робот был подключён к шесту, который позволял плавать по кругу в специальной лаборатории. Затем машина была испытана в озере на глубине 70 метров, где она свободно плавала со скоростью 1,9 метра в минуту, а также в Южно-Китайском море на глубине около 3 200 метров. При этом удалось достичь скорости 3,11 м/мин (эквивалентно 0,45 длины тела в секунду), что соответствует возможностям других подобных роботов. Наконец, движение робота были проверены в Марианской впадине, где он был подключён к обычному подводному роботу для поддержки, который также сделал снимки теста.

Дальнейшим развитием конструкций подобных устройств являются разработки мягких роботов для использования на значительной глубине — для задач, где необходимо деликатно взаимодействовать с объектами, так как обычные роботизированные сенсоры плохо работают в такой среде. В перспективе мягкие роботизированные рыбки, устройство которых вдохновлено биологией, смогут плавать среди других животных, не беспокоя их, что позволит изучать их вблизи. А в дальнейшем с их помощью могут открыться возможности для исследований морской биологии, в которых мягкие роботы будут безопасно перемещаться по коралловым рифам или подводным пещерам, чтобы собирать хрупкие образцы, не повреждая их



Исследователи из Италии обратились к процессу осмоса, который позволил им разработать вести себя подобно растению. Мягкие роботы «решили» поучиться чему-то новому у растений. При помощи физических свойств, схожих с теми, которыми обладают растения, исследователи из Итальянского технологического института (ИИТ) в Генуе создали мягкого робота, способного ползти и карабкаться аналогично тому, как это делает виноградная лоза (рисунок 8).

Исследование, опубликованное в журнале Nature Communications, может привести к появлению нового поколения мягких роботов и носимых технологий — вроде браслетов, способных менять форму.

В рамках изучения и проектирования мягких роботов особое внимание уделяется мягким и растягивающимся датчикам. Используя изначально мягкие материалы или структурно податливые конструкции, растягиваемые датчики продемонстрировали механически невидимый мониторинг систем с мягким телом, что в противном случае сложно для жёстких аналогов на основе кремния. В недавних исследованиях учёные продемонстрировали систему SheaLDS, способную самостоятельно восстанавливать повреждения своего корпуса. Хотя самовосстановление повреждений и звучит круто, но куда интереснее и полезнее другое свойство SheaLDS, а именно своевременное обнаружение этих повреждений, что реализовано с помощью датчиков на основе световодов.



Рисунок 8 — Мягкий робот-лоза

Данная система была интегрирована в мягкого робота с четырьмя конечностями (ногами). Затем учёные сделали шесть проколов на одной из ног несчастного подопытного. Робот успешно обнаружил повреждённые участки и восстановил их. На заживление каждого из проколов роботу понадобилось около минуты. Ещё одной важной особенностью робота стала адаптация его походки в зависимости от состояния (есть повреждения или нет).

В будущем учёные намерены объединить SheaLDS и алгоритмы машинного обучения, способные распознавать тактильные ощущения, чтобы получить в результате фактически живого робота с кожей, которая не только сможет заживлять раны, но и чувствовать окружающую среду. Такие роботы не только смогут выполнять больше функций, но и смогут делать это с большей осторожностью, избегая ситуаций, когда их тело может получить повреждение, но и в случае, когда травма все же произошла, робот сможет заживить её, как это делает тело человека.

Учёные из Southern University of Science and Technology (Китай) создали при помощи 3D-печати светящихся гибких и эластичных роботов, которые обладают способностью менять цвет в соответствии с фоном окружающей среды. Данное технологическое решение, представляющее собой простой и универсальный способ производства гибких электролюминесцентных устройств, станет основой для разработки интеллектуальных дисплеев следующего поколения, носимой электроники и смарт-камуфляжа.

Привлекательность мягких роботов заключается в их гибкости и универсальности, что позволяет выделить несколько направлений, которые являются перспективными и обладающими коммерческим потенциалом:

- 1. Роботизированные мышцы:** сейчас разрабатываются несколько типов мягких роботов, которые будут работать в качестве роботизированных мышц. Один из самых многообещающих прототипов черпает вдохновение из оригами. Его сложенная конструкция может поднимать вес в 1 000 раз больше собственного веса и масштабируется от нескольких миллиметров до метра в длину. Кроме того, сейчас учёные работают над созданием наноразмерных роботов из ДНК.

2. **Альпинистские роботы:** у этих типов роботов есть много потенциальных применений, начиная от осмотра и обслуживания зданий и заканчивая поисково-спасательными операциями. Одна из версий роботов для мягкого лазания имеет изогнутую конструкцию, очень похожую на гусеницу. Это позволяет ему ползать вверх и вниз по сооружениям разного размера.
3. **Съедобные роботы.** Первый проект таких роботов создан школьной командой в Филадельфии для ежегодного конкурса Soft Robotics. Эти биоразлагаемые роботы могут безопасно доставлять лекарства к различным частям тела.
4. **Носимые роботы.** Эти биомиметические устройства могут помочь пациенту, проходящему физическую реабилитацию. Мягкий робот имитирует естественные движения тела, где бы он ни находился, помогая пациенту восстановить нормальные двигательные функции.
5. **Роботы-протезы.** Мягкие роботы могут использоваться для создания превосходных протезов для людей, у которых отсутствуют конечности или части тела. Часто технология мягкой робототехники используется на конце протеза руки для более деликатного и точного захвата объектов.
6. **Роботы-космонавты.** Учёные НАСА предполагают, что однажды они будут летать по поверхности Марса. Другие уже проектируют роботов, которые будут работать в самых труднодоступных частях человеческого тела.

Хотя мягкие роботы также могут использоваться в промышленных условиях — особенно в качестве коллаборативных роботов (также известных как «коботы»), работающих вместе с людьми, они вряд ли ограничиваются этим.

В целом же одним из существенных стимулов для развития рынка мягкой робототехники станет растущая потребность в автоматизации многих отраслей, включая пищевую промышленность и ретейл. В частности, мягкие роботы могут использоваться не только для «захвата» хрупких товаров (например, яиц), но и для обнаружения слишком спелых или испортившихся продуктов, перестановки контейнеров неправильной формы, оптимальной комплектации продуктовых корзин.

Проектирование мягких роботов как захватывающей технологии с огромным потенциалом требует принципиально новой парадигмы в части организации механики, питания и управления. На новом витке технологической революции учёные только начинают осваивать эти природные механизмы и применять эволюционные подходы в своих разработках, что в скором будущем способствует созданию масштабируемых сухопутных, водоплавающих и летающих мягких роботов.