



ОТ НОВОЙ НАУКИ

К НОВОЙ

ИНЖЕНЕРИИ

Сегодня прорывные разработки невозможны без новых инженерных подходов. **Олег Степанович Нарайкин**, член-корреспондент РАН, заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» по направлению НБИК-технологий рассказал об этом на примере процесса разработки вентрисосудистого микроробота

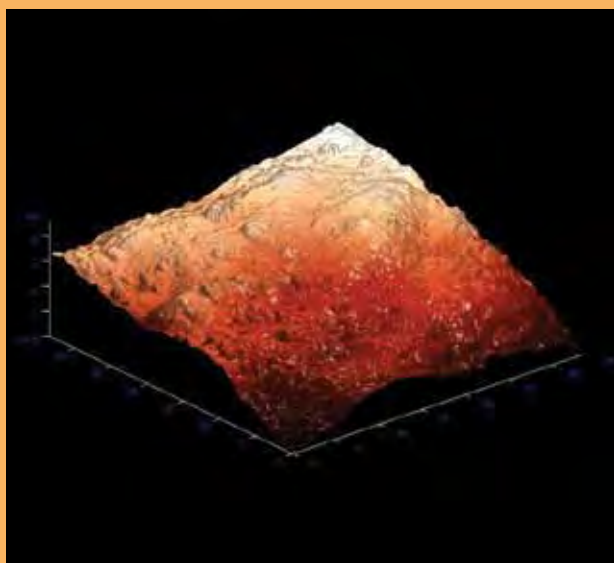
От нано к антропоморфным системам

В последние годы мы стали свидетелями быстрого, видимого даже на таком исторически коротком интервале времени изменения научной и технологической сферы. В нашу жизнь уже прочно вошли нанотехнологии как принципиально новая технологическая культура, основанная на возможности прямого, направленного манипулирования атомами и молекулами. И главное здесь – не наноразмер, а наноподход, в результате которого создаются новые материалы с качественно новыми, улучшенными характеристиками, необходимые во всех сферах – от медицины до строительства, от информатики до легкой промышленности.

В основе второй составляющей развития нанотехнологий лежит сближение и взаимопроникновение «неорганики» и биоорганического мира живой природы – соединение возможностей современных технологий,

в первую очередь твердотельной микроэлектроники как наивысшего технологического достижения современности, с «конструкциями», созданными живой природой.

Сегодня уже многие технические устройства воспроизводят органы человека и их функции. Очевидно, что приблизиться к ним по уровню совершенства, широте функций, скорости и возможностям комплексного решения задач невозможно без использования элементов биоорганики и соответствующего технологического инструментария. Нанотехнологии оказались тем инструментом, который позволяет человечеству перейти на новый уровень воспроизводства свойств живого. Какая же связь, допустим, между нано и геномикой? До появления нанотехнологий биологи могли исследовать процессы в живом организме, до известной степени корректировать их химическим путем, но не могли создавать, например, живую ткань, причем об-



Под зондом атомно-силового микроскопа интима (внутренняя оболочка сосуда) выглядит как горная система

ладающую необходимыми нам свойствами. А нанотехнологии дают нам инструмент для решения такой задачи. Отсюда возникла связка между нано- и био-, которая позволяет осуществить многие задачи бионики, до недавнего времени представлявшиеся фантастикой.

С появлением нанотехнологий у нас появилась, например, возможность искусственно синтезировать клетку. Но чтобы подобная синтетическая клетка была живой, она должна иметь определенный минимальный геном. А научиться создавать геном можно лишь зная, как его расшифровывать. Собственно говоря, бионика – это технические системы, работающие по тем же принципам, что и нервная, сенсорная и прочие системы живых существ. Так, навигационные бионические системы существуют уже довольно давно, например виброгирискоскоп представляет собой воспроизведение навигационного аппарата летающих насекомых. Это пока микроразмеры, но появляются уже и первые наноразмерные образцы, их начинают делать на кантилеверах.

Искусственные клетки и молекулярный ремонт – пока дело будущего. Но начинать готовить его нужно уже сегодня. Первоочередная задача – создание гибридных материалов, состоящих из органической и неорганической субстанций, и уже на их основе – гибридных систем, таких как гибридные микросхемы: например, встроенный во внутрисосудистый микроробот сенсор, реагирующий на ионы кальция. Соответствующая биологическая субстанция существует. Однако чтобы сигнал дошел до хирурга, его нужно не только воспринять, но

и обработать, усилить и передать вовне. Так что требуется срастить биодетектор с микроэлектронным чипом.

Теоретически тут все понятно, но остается масса сложнейших инженерных проблем. Процессы преобразования энергии и информации в живом организме вообще неразделимы. Уже на одном примере с синтетической клеткой очевидно, что одними нанотехнологиями ничего не решить. И только генетикой и биологией здесь не обойтись. Без информационных систем любая созданная структура будет неэффективна. Наконец, когнитивные технологии дадут нам возможность, основываясь на изучении функций мозга, механизмов сознания, поведения живых существ, вводить в созданную структуру алгоритмы, которые фактически и будут ее «одушевлять», наделять разумом. Если наша конечная цель – создание антропоморфных, т.е. похожих на человека систем, то это возможно только через конвергенцию наук и технологий.

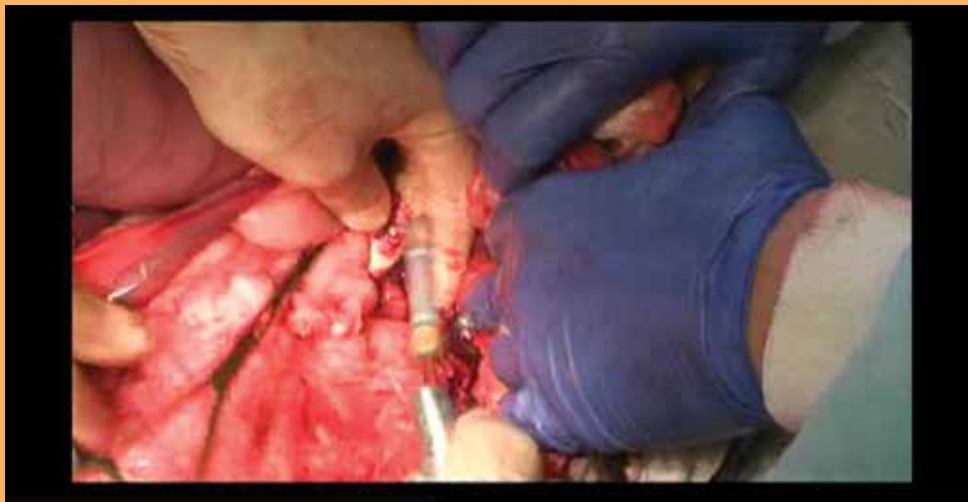
Человек как машина

При переходе к принципиально новым, природным технологиям многие привычные для нас принципы инженерной деятельности становятся уже непригодными. Например, в любой технической системе легко выделяются ее отдельные компоненты: в автомобиле это двигатель, трансмиссия, несущая конструкция и т.д. Теперь давайте обратимся к природным системам, например человеку. Можно у человека четко выделить, условно говоря, функциональные блоки? Категорически нельзя, поскольку в организме все интегрировано на клеточном уровне. Клетка одновременно работает и как сенсор, и как энергетическая, и как информационная система. Следовательно, если мы хотим создавать природоподобные технологии, то нельзя использовать старые инженерные методы.

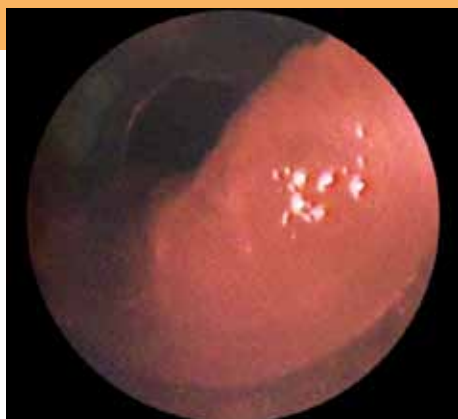
Получается такая цепочка: зарождается новая технология, мы начинаем формировать промышленные подходы к ее созданию. Раз нам нужно такую технику создавать, то нам необходимо ее проектировать. Однако старые подходы и концепции для решения новых задач не годятся. В какой-то части они конечно работают, новое не должно полностью отвергать старое, но традиционные, классические, канонические инженерные подходы уже не соответствуют поставленным задачам. Получается интересная ситуация: создавая технику, работающую на новых принципах, воспроизводящих природные системы и процессы, мы должны одновременно формировать новую инженерию, новые интегральные, междисциплинарные, технологические и ментальные подходы. Главная их особенность – рассмотрение системы в целом и, соответственно, формирование новой, интегральной методологии проектирования.

Постановка задачи в новых условиях

Наша разработка, внутрисосудистый микроробот – как раз пример такой системы. Итак, наша за-



Биологические испытания отечественного внутрисосудистого медицинского наноробота



Так выглядит тромб внутри сосуда. Микроробот его разглядел и теперь готов по команде оператора приступить к уничтожению

дача состояла в том, чтобы создать некий аппарат, устройство, которое малоинвазивным способом можно ввести в сосудистое русло и, что особенно важно, выполнить ряд операций, т.е. обеспечить такому устройству некий функционал. Давайте посмотрим, что даст нам такой микроробот.

Хирург должен видеть, что происходит внутри сосуда, т.е. нам нужна визуализация. Также необходимо иметь возможность в режиме онлайн сразу проанализировать различные функциональные параметры состояния сосудистого русла: сужение, облитерация, тромбы. Важная задача – анализ состава крови в реальном времени, например на содержание ионов кальция, потому что именно кальцификация и приводит к появлению атеросклеротических новообразований. Эти задачи сегодня решают эндоскопы, с помощью кото-

рых можно и сделать некоторую визуализацию, и взять кровь на анализ, но уже постфактум, а не в ходе операции.

Нужны возможности для того, чтобы вмешаться в ситуацию. Допустим, мы вошли и увидели тромб, который надо разрушить. Значит, нужна некая технологическая оснастка нашего микроробота – прежде всего система, которая позволяла бы разрушить новообразование, естественно, не повреждая сосуд, и удалить продукты разрушения.

Для всего этого должна быть реализована система управления, которая позволит перемещаться и фиксироваться в сосудистом русле. Вот задачи, сформулированные медициной. А теперь давайте задумаемся об ограничениях.

Первое: система должна быть микроминиатюрная. Наше устройство ориентировано на средние и крупные сосуды: аорты, крупные артерии с диаметром от 10 до 20 мм. Следовательно, мы имеем максимальный диаметр нашего транспортного модуля 8 мм. И вот в этот «червячок» мы должны поместить системы визуализации и управления, химические анализаторы и технологическую систему, которая позволит удалить бляшку и разрушить тромб, попутно эвакуируя его остатки.

Здесь и начинается самое интересное. Я как конструктор понимаю, что если буду действовать традиционным образом, то никогда не втиснусь в эти параметры. Одни только сенсоры займут весь объем прибора и даже больше. Вопрос: а как же это делает природа? Ответ: применяя совершенно другие принципы проектирования и конструирования, как в любой бионической системе. «Сэкономить место» можно с помощью

интегрированных компонентов, которые одновременно выполняют несколько функций. Например, необходимый нам корпус транспортного модуля следует «превратить» в распределенный сенсор и анализатор, используя принцип кожного покрова человека и животных. Это позволяет нам перейти уже к принципу интегрального конструирования и проектирования, когда все элементы многофункциональны. Подчеркну еще раз, что такие принципиально новые подходы в инженерии требуют еще и идеологических изменений: нужно отказаться от канонических принципов конструирования, подходов к созданию новых технологий. Но вернемся к нашему примеру и идее сделать сам корпус микроробота датчиком. На часть корпуса мы наносим специальную пленку, получаем хемосенсор, благодаря чему можем видеть, например, превышение концентрации ионов кальция (ведь норма в данном случае нет надобности фиксировать).

Еще одна важная особенность нашей системы заключается в том, что она не перекрывает кровоток. Созданный нами образец впервые в мире уже был испытан на крупных животных – быке, баране. Сегодня наш аппарат уникален.

Есть еще ряд ограничений, связанных с основополагающим врачебным принципом «Не навреди». Мы внедряемся в живой организм, значит, не должны там ничего повредить. Понятно, что все материалы, участвующие в процессе, должны быть биосовместимыми, но также важно, чтобы в ходе манипуляции контролировалось усилие, с которым аппарат действует на сосудистую стенку. Если оно превышает допустимые значения, то система останавливается.

Видеокамера – тоже неотъемлемая часть этой системы. Она, разумеется, очень миниатюрная, с подсветкой. В результате мы прекрасно видим всю сосудистую стенку, т.к. нам удалось добиться очень высокого разрешения. Разрешающая способность у нашей системы лучше, чем у самых совершенных эндоскопов. Видны даже только зарождающиеся бляшки. Питание такой видеокамеры приходит извне, по оптоволокну.

Что касается вопроса об автономности системы, я склонен ответить, что такого рода системы вряд ли будут автономными, все-таки это несет определенную опасность для жизни человека. Мы должны всегда иметь возможность извлечь микроробота из организма пациента, не прибегая к серьезному хирургическому вмешательству.

Система управления позволяет осуществлять любые движения, фиксироваться в любом месте сосудистого русла. Это можно делать как программным методом в предоперационном периоде, так и с пульта джойстиком. Технологическая система здесь – микроминиатюрная турбинка. Представьте себе, в этом транспортном модуле есть технологическое пространство. Такая турбинка обеспечивает работу в режиме гидравлического скальпеля, который разрушает «лишнее» с помощью физраствора. Турбинка-скаль-

пель может разрушать, а может отсасывать продукты разрушения в специальную емкость. Получается абсолютно целостная, замкнутая техническая система.

Наука и практика

Техника такого уровня требует не только новых подходов к инженерии, но и новых подходов к эксплуатации. Классический врач без обучения с подобной техникой не справится. В операционной должен быть инженер, понимающий в медицине. Снова налицо междисциплинарность, конвергенция.

Без врачей как постановщиков задач и конечных пользователей ничего сделать было бы невозможно. Мы давно и эффективно работаем с ними. Когда это все началось, главная проблема была – начать говорить на одном языке. Первые лет пять у нас ушли именно на то, чтобы научиться понимать друг друга и преодолеть консерватизм с обеих сторон. Сейчас же ситуация поменялась на прямо противоположную. Порой врачи нас подстегивают, торопят внедрять все немедленно и срочно.

Когда задачи ставятся практиками, тогда и результаты рождаются действительно многообещающие и внутренне содержательные. ■

Подготовил Василий Прозоровский



ОБ АВТОРЕ

Олег Степанович Нарайкин – доктор технических наук (1989), профессор

(1991), член-корреспондент РАН (2008), заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» по направлению НБИК-технологий, заведующий кафедрой прикладной механики МГТУ имени Н.Э. Баумана. Основные направления научной деятельности: теория колебаний, мехатроника, нано- и микросистемная техника и биомедицинские технологии. Автор более 70 работ в ведущих отечественных и международных научных журналах. Лауреат премии Президента Российской Федерации (2000), медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» второй степени (2005).