

знаши-
ию так
сканию
еньше-
ультате

димого
только
ответ-
и 3 на

в точке УДК 621.583.142.07

льном

ктным Е. Н. ИВАШОВ, д-р техн. наук, В. А. ВАСИН, С. В. СТЕПАНЧИКОВ, кандидаты технических наук (МИЭМ),
и-пера: e-mail: ienmiem@mail.ru, vacuumwa@list.ru, vacuumwa@ya.ru

Значение общенаучных методов познания в нанотехнологии¹

и даль-
ый за-
казан-
ерное
вляю-
и еди-
а.

Маши-

строе-

анием
Боб-
ение.

ущих
1969.

оес-
ение.

реза-
Ма-

риа-

ежу-
с.
ния.

Рассмотрены тенденции развития и методы эмпирического и теоретического познания в нанотехнологии, законы развития электроники, как основной ее составляющей.

Ключевые слова: нанотехнология, электроника, методы познания, техноэволюция.

In the paper the progress trends and methods of empirical and theoretical learning in the nanotechnology and development laws of the electronics as its main component are considered.

Keywords: nanotechnology, electronics, methods of learning, techno-evolution.

Научное познание есть исторически меняющаяся деятельность, которая детерминирована, с одной стороны, характером исследуемых объектов, а с другой — социальными условиями, свойственными каждому исторически определенному этапу развития цивилизации. Это касается и нанотехнологии. Существуют два уровня познания — эмпирический и теоретический. Основными методами эмпирического исследования являются наблюдения, реальный эксперимент, описание, обработка статистических данных и др. В теоретическом исследовании применяются методы идеализации — математические модели, метод восхождения от абстрактного к конкретному.

Стиль мышления — представление о нормах, объяснения, описания, доказательность, описание знания. Так, идеалы и описания средневековья отличны от тех, которые характеризуют науку настоящего времени. В средневековой науке опыт не есть критерий истины. Научная картина мира складывается в результате синтеза знаний, полученных в различных областях науки, и содержит общее представление о мире [1].

¹ Статья выполнена членами Российского научно-технического вакуумного общества.

Философские идеи и принципы обосновывают как идеалы и нормы науки, так и содержательные представления научной картины мира. Философские обоснования науки не следует отождествлять с общим массивом философского знания. Философия базируется на всем культурном материале, созданном человечеством. Наука — лишь отдельная область культуры. И из многочисленных философских проблем, возникающих в период данной исторической эпохи, наука использует в качестве основополагающих структур лишь некоторые ее принципы.

В соответствии с двумя уровнями научного познания различают эмпирические и теоретические его методы. К первым относят наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент, ко вторым — идеализацию, формализацию, восхождение от абстрактного к конкретному и др.

Методы познания в нанотехнологии

Эмпирические методы познания

Наблюдение — целенаправленное систематическое восприятие нанообъекта или процесса, предоставляющее первичный материал для научного исследования. Как метод научного познания наблюдение дает исходную информацию об объекте, необходимую для его дальнейшего исследования. Наблюдение как преднамеренное и целенаправленное восприятие явлений и процессов осуществляется без прямого вмешательства в их течение, подчиненного задачам научного исследования. Основные требования к научному наблюдению: однозначность цели и замысла; системность в методах наблюдения; объективность; возможность контроля либо путем повторного наблюдения, либо с помощью эксперимента. Наблюдение используется, как правило, там, где вмешательство в исследуемый процесс нежелательно или невозможно.

Сравнение и измерение. Сравнение представляет собой метод сопоставления нанообъектов с целью выявления сходства или различия между ними. Если объекты сравниваются с объектом, выступающим в качестве эталона, то такое сравнение называется измерением. С помощью измерения устанавливаются численные характеристики объектов, а это имеет большое значение для многих областей научного познания, в которых необходимы точные количественные характеристики изучаемых объектов (прежде всего в естественных и технических науках). Что касается сравнения, то на этом методе основаны такие науки, как сравнительная анатомия, сравнительная эмбриология, сравнительное историческое языкознание и некоторые другие [1, 2].

Эксперимент (лат. — опыт, проба) — метод исследования нанообъекта или процесса, при котором исследователь активно воздействует на объект, создает искусственные условия, необходимые для выявления определенных его свойств. При эксперименте в отличие от наблюдения явления изучаются в контролируемых и управляемых условиях. Эксперимент, как правило, осуществляется на основе теории или гипотезы, определяющих постановку задачи и интерпретацию результатов.

Различают натуральный и модельный эксперименты. И если первый ставится непосредственно над объектом, то второй — над его заместителем — моделью. Под моделью понимается мысленно представляемая (мысленная копия объекта) или материально реализованная система, отображающая или воспроизводящая объект исследования, способная давать или получать информацию о самом объекте (например, модель самолета, испытываемая в аэродинамической трубе). Моделирование находит широкое применение в науке (физике, математике, кибернетике, аэромеханике) и технике (кораблестроении, гидростроительстве). Применяется моделирование и в обществоведении, политологии и юриспруденции (при решении многих криминалистических задач).

Методами обработки и систематизации знаний эмпирического уровня являются анализ и синтез. Анализ — процесс мысленного (или реального) разъединения объекта (предмета, явления) на элементы (составляющие, признаки, свойства, отношения). Процедура, обратная анализу — синтез, т. е. соединение выделенных в ходе анализа элементов в единое целое.

Важную роль в обобщении результатов наблюдения и экспериментов играет индукция — особый вид обобщения данных опыта. При индукции мысль исследователя движется от частного (отдельных факторов) к общему. Противоположностью индукции является дедукция — движение мысли от общего к частному. Дедукция используется в основном на теоретическом уровне познания.

В процессе познания используется и такой прием, как аналогия — умозаключение о сходстве объектов в определенном отношении на основе их сходства в ряде иных отношений. С этим приемом связан метод моделирования, получивший широкое распространение в настоящее время. Моделирование используют, например, если объект труднодоступен, его прямое изучение экономически невыгодно и т. д. [1].

Значительное место в современной науке занимает системный метод исследования — теоретическое представление и воспроизведение объектов как систем.

Теоретические методы познания

Идеализация. Этот метод основан на универсальном мыслительном приеме — абстрагировании (лат. — отвлечение), которое представляет собой мысленное отвлечение от одних свойств предмета и выделение других его свойств. Результатом абстрагирования являются абстракции — понятия, категории, содержанием которых являются существенные свойства и связи явлений. В процессе последовательного абстрагирования образуются абстракции все более высокой степени общности, например: планета Земля — планета Солнечной системы — планета — небесное тело — тело. Такое абстрагирование называется многоступенчатым.

Метод идеализации находит широкое применение в научном познании. Он позволяет переходить от эмпирических законов к теоретическим, формулировать их на языке науки. В современной науке все более широкое применение находит формализация — метод изучения некоторых областей знания в формализованных системах с помощью искусственных языков, например, формализованных языков химии, математики, логики.

Позитивизм — одно из наиболее влиятельных направлений философского мышления. Как самостоятельное течение позитивизм оформился в 30-е годы XIX в. В центре внимания позитивистов неизменно находился вопрос о взаимоотношении философии и науки. Главный тезис позитивизма — все подлинное (позитивное) знание есть совокупный результат отдельных специальных наук. Позитивизм объявил единственным источником истинного знания конкретные науки и выступил против философии как метафизики, но за философию как особую науку, понимая под метафизикой умозрительную философию бытия (онтологию, гносеологию). Позитивизм — философия позитивного знания, отвергающая теоретические спекуляции и умозрения как средства получения знания, утверждает, что только совокупность наук дает право говорить о мире в целом, т. е., если философия научна, то она должна распрощаться с попыткой судить о мире в целом [1].

Общенаучные методы познания нашли применение почти во всех науках. Их своеобразие (отличие от всеобщих философских методов) в том, что они находят применение не на всех, а лишь на определенных этапах процесса познания.

Неопозитивизм — следующий этап в развитии позитивизма, начавшийся в 20-х годах XX в. и продолжающийся до настоящего времени. Неопозитивизм часто называют аналитической философией. Уходя от решения коренных философских проблем, неопозитивизм сосредоточивается на частных логико-методологических исследованиях, истолковывает истину как совпадение высказываний с непосредственным опытом человека. Его основная задача — анализ логической структуры языка, терминов и предложений, которые употребляются в научном языке. Одной из важнейших задач является отделение предложений, которые имеют смысл, от тех которые лишены его с научной точки зрения, т. е. очищение науки от бессмысленных предложений. Неопозитивисты различают три типа осмысления предложений:

1) высказывания об эмпирических фактах (если говорят о фактах и ни о чем более);

2) предложения, содержащие логические следствия этих высказываний и построенные в соответствии с логическими правилами (могут быть сведены к высказываниям об эмпирических фактах);

3) предложения логики и математики (не содержат высказываний о фактах, не дают нового знания о мире, необходимые для формального преобразования уже имеющегося знания).

Основополагающую часть нанотехнологии составляет электроника. Рассмотрим законы ее развития [3, 4].

1. Закон прогрессивной эволюции электроники. В вакуумных устройствах с одинаковой функцией переход от поколения к поколению происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности. Прогрессивная эволюция продолжается до максимального значения показателя Q эффективности, например количества элементов в единице объема кристалла или изделия наноэлектроники.

2. Закон скачкообразного развития отражает революционные изменения в процессе развития. Переход к очередной стадии происходит при исчерпании природных возможностей человека в улучшении показателей эффективности выполнения функций данным устройством.

3. Закон соответствия между функцией и структурой заключается в том, что в правильно спроектированном электронном устройстве каждый элемент имеет вполне определенную функцию по обеспечению его работоспособности. Исключение элемента приводит к ухудшению какого-либо показателя эффективности.

4. Диалектический закон перехода количественных изменений в качественные тесно связан с первым и вторым законами развития электроники. Главная проблема нанотехнологии — проблема верификации, заключающаяся в невозможности в настоящее время проверить некоторые теории опытным путем. Это связано с тем, что почти во всех экспериментах используется метод косвенных измерений. Соотношение принципов верификации и фальсификации (т. е. не подтверждение истинности, а опровержение неистинности) также является проблемой нанотехнологии. Кроме того, в нанотехнологии, как нигде более, очевидными становятся размытые грани между различными категориями философии, такими как "причина — повод — следствие", "количество — условие — качество", "единичное — особенное — всеобщее", "сущность — наблюдение — явление", "необходимость — действие — случайность", "возможность — предрасположенность — действительность" и др.

Анализ задач математического, физического и технического моделирования в нанотехнологии позволяет констатировать отсутствие в природе *физического нуля*, т. е. абсолютного ничего, пустоты. Так, например, предельное остаточное давление в вакуумной камере бесконечно мало, но не равно нулю; это же относится к силе тяжести или абсолютной отрицательной температуре (абсолютный нуль). Таким образом, нанотехнология имеет дело с бесконечно малыми (не равными нулю) величинами. В общем случае бесконечно малые величины — антиподы бесконечно больших. Например, при увеличении радиуса до бесконечно большой величины, окружность превращается в прямую, а при его уменьшении до бесконечно малой величины — в точку. Таким образом, прямая — синоним бесконечно большой величины, точка — бесконечно малой.

Техноэволюция нанотехники основывается на законе информационного отбора Б. И. Кудрина [3, 4], действие которого проявляется в наследственных изменениях вида нанотехники, точнее — популяций изделий, занимающих определенную экологическую нишу. В отличие от закона естественного отбора Ч. Дарвина в "вакуумной" технике имеет место более целенаправленная изменчивость: появляются, как правило, только такие новые варианты конструкторских решений, которые по основным показателям (критериям эффективности) обеспечивают повышение конкурентоспособности, а подавляющее большинство изменений связано с улучшением наиболее актуальных показателей, которые в данный момент требуется улучшить (например, скорость откачки вакуумного насоса, величина предельного вакуума).

Техноценоз — совокупность всех изделий и оборудования конкретного участка, цеха, предприятия

для определенного момента или отрезка времени. Существующие научно-исследовательские институты и конструкторские бюро нанотехники в основном сосредоточены на изучении и проектировании отдельных изделий, а изучением, проектированием техноценозов никто серьезно не занимается. В каждом конкретном случае существует свой оптимальный состав оборудования в техноценозе, который находится между двумя предельными случаями: все изделия в техноценозе различны; все изделия одинаковы. Задача выбора оптимального состава оборудования техноценоза — очень сложная задача нелинейного программирования [5, 6].

Попробуем разобраться, какую помощь могут оказать нанороботы и какую угрозу для человечества они представляют. Перспективы — фантастические, например внедрение в организм молекулярных роботов, предотвращающих старение клеток, перестраивающих и оздоравливающих ткани. Наноробот, передвигаясь по кровеносной системе сможет очищать организм от микробов, раковых клеток, отложений холестерина. В промышленности традиционные технологии заменят сборкой изделий непосредственно из атомов и молекул с помощью молекулярных роботов [5]. Изменения произойдут и в сельском хозяйстве: молекулярные аналоги растений и животных будут воспроизводить химические процессы, происходящие в живом организме, но более эффективным путем [7]. В кибернетике произойдет переход к объемным микросхемам, а размеры активных элементов уменьшатся до размеров молекул. Рабочие частоты компьютеров достигнут терагерцовых величин. Получат распространение схемные решения на нейроноподобных элементах. Появится долговременная быстродействующая память на основе белковых молекул, емкость которой будет измеряться терабайтами. На внедрение логических наноэлементов во все сферы деятельности понадобится около 100 лет.

Однако новые открытия могут иметь и негативные последствия. Представим себе, например, что в устройстве, предназначенном для утилизации промышленных отходов до атомов, произойдет сбой, и оно начнет уничтожать полезные вещества биосферы, обеспечивающие жизнь людей. При этом неприятнее всего, что это могут быть нанороботы, способные к самовоспроизводству (самореplikации, размножению). Вызывает опасение и возможность создания оружия, например воздействующего на определенные этнические группы.

По признанию нью-йоркских ученых главный шаг на пути создания нанороботов уже сделан. Судя по тому, что на создание первой ДНК-машины ушло около 10 лет, первый наноробот появится максимум лет через 5–7.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) устроены, как и макроразмерные изделия, в состав

которых входят моторы, передачи и рычаги, изготовленные из стекла, керамики или металла. Но наноразмерные структуры будут создаваться по иным принципам на основе других физических законов. На молекулярном уровне перестают действовать законы механики, используемые для расчетов узлов традиционных машин. Законы сопротивления материалов и гидравлики здесь неприменимы, вступают в действие законы квантовой механики, которые приводят к совершенно неожиданным с точки зрения классической механики результатам.

Сегодня практическая нанотехнология ориентирована на решение следующих задач:

- создание твердых тел и поверхностей с требуемой молекулярной структурой;

- создание новых химических веществ посредством конструирования молекул (с участием и без участия химических реакций);

- разработка устройств различного функционального назначения (компоненты наноэлектроники, нанооптики, наноэнергетики, нанороботы и нанокomпьютеры, нанолечения, наноинструменты и т. д.);

- создание наноразмерных самоорганизующихся и самореплицирующихся структур.

Инструментальный базис нанотехнологий, позволяющий ученым и исследователям не только визуализировать атомные структуры, но и манипулировать отдельными атомами, создавая новые молекулы, основан на использовании так называемого эффекта туннелирования электронов. Его применение на вершинах зондов специальных конструкций позволило достичь высокой пространственной разрешающей способности управления атомно-молекулярными реакциями в отличие от известных групповых технологий осаждения материалов, методов оптической литографии, эпитаксии, а также электронной литографии, при которых высокая энергия фокусируемых электронов приводит к значительному разрушению используемых материалов.

За 20 с небольшим лет с момента появления техники сканирующей зондовой микроскопии и изобретения сканирующего туннельного, а затем и атомно-силового микроскопов в разных странах были получены впечатляющие результаты по наблюдению наноразмерных частиц и структур на их основе, а также поставлена задача создания технологических машин, позволяющих осуществить атомно-молекулярную сборку вещества и конструирование отдельных узлов и устройств различного функционального назначения [8, 9].

Внедрение наносхемотехники и нанороботов позволит создать микроскопические компьютеры небывалой производительности [3]. Более того, они станут саморемонтирующимися и самовоспроизводящимися. Это означает, что в зависимости от

аги, изго- потребности в вычислительной системе она будет галла. Но-ама увеличиваться и уменьшаться. Применение заться подесятиатомных транзисторов позволит подойти еских за-вплотную к имитации мыслительных процессов г действо-человека и уже к середине XXI в. создать настоя- рас-рассчитывающий искусственный интеллект — саморазвиваю- противле-щуюся мыслительную среду. Станет возможным менимы, также и внедрение человеческого сознания в ком- техники, компьютерные программы.

анным с Впервые идея о новом направлении была выска- ультатам. зана лауреатом Нобелевской премии Р. Фейнма- я ориен-ном в 1959 г. Позже, в 1980-х годах появились при- боры, способные оперировать с отдельным атомом, с требуе- например взять его и переставить на другое место.

Созданы отдельные элементы нанороботов: опыт- осредст-ный механизм шарнирного типа на основе не- м и без скольких цепочек ДНК, способный сгибаться и разгибаться по химическому сигналу, первые об- циональ-разцы нанотранзисторов или электронных пере- роники, ключателей, состоящие из небольшого числа ато- мов. В нанотехнологии ежегодно инвестируются рументы сотни миллионов долларов, разработками заняты сотни фирм.

юющихся Разработка нанороботов — механизмов разме- ром в десятки и сотни нанометров, начата не так ий, по- давно. Как и обычные роботы, нанороботы будут только иметь различные конструкции и назначения, смо- гут собирать механизмы, создавать новые вещества и мани- (для таких устройств уже придуманы названия: "ас- новые емблер" (сборщик) или "репликатор"), утилизиро- азывае-вать и перерабатывать отходы. Венцом этого направ- ов. Его ления станут нанороботы, воспроизводящие свои ых кон- копии, т. е. способные так сказать к размножению. струк- ции от

Нанороботов условно делят на два вида: на спо- я мате- способных конструировать что-либо, например само- питак-воспроизводиться (ассемблеры), и деконструиро- вать, разбирать (дисассемблеры). Молекулярные и кото- ассемблеры — основной инструмент человека для тронов манипуляций в наномире. Вирусы в определенном альзую- смысле являются ассемблерами.

Микроскопические роботы, способные манипу- ия тех-лировать объектами размером в несколько нано- и изо- метров (10^{-9} м), могли бы оказаться весьма полез- тем и ными во многих отраслях народного хозяйства. Но в ах бы- настоящее время еще нет роботов, способных блюде- манипулировать предметами меньше нескольких мик- снове, рометров (10^{-6} м). огиче-

При этом для работы в наносфере требуется ска- омно-нирующий электронный микроскоп. Задача состо- вание ит в том, чтобы использовать микроскоп не только кцио- для наблюдения, но и для обратной связи.

Для реализации такого взаимодействия исполь- юботовзуют свойства сплавов с эффектом памяти формы отеры (Shape Memory Alloys — SMA). Пластически де- того, формированные изделия из таких сплавов при на- спро-гревании восстанавливают свою первоначальную сти от

конфигурацию. Сплавы на титаново-никелевой ос- нове уже давно применяют в нанотехнологии, но идея использования луча микроскопа для нагрева- ния манипулятора запатентована недавно.

Как показывает практика, манипуляция объек- тами, меньшими микрометра, требует создания ма- нипуляторов микрометрового размера, причем си- ла воздействия такого привода должна быть чрез- вычайно малой. Существующие типы приводов (электромагнитный, пьезоэлектрический) не удов- летворяют требующимся параметрам [9].

SMA-устройства до недавнего времени были не меньше нескольких сотен микрометров. Следова- тельно, возникают два вопроса: во-первых, каковы минимальные размеры, при которых сплавы сохра- няют свои свойства; во-вторых, насколько малый объект можно выборочно нагреть, чтобы привести устройство в действие. Предыдущие исследования показали, что пленка из SMA на титаново-никелевой основе с добавлением кремния и оксида кремния толщиной в 100 нанометров (всего около 200 атом- ных слоев) все еще способна предсказуемо менять форму при нагревании.

Что же касается электронного сканирующего микроскопа, то его лучом можно нагревать обла- сти микрометрового размера. Для нагревания до необходимой температуры образца размерами, на- пример, $4 \times 10 \times 100$ мкм требуется энергия в $1,3 \cdot 10^{-5}$ Дж, т. е. достижимой мощности луча в $2 \cdot 10^{-3}$ Вт достаточно для выделения необходимой теплоты за 6 мс.

Путем деформации достаточно толстой перфо- рированной пленки из SMA и ее последующего нагревания лучом микроскопа удалось получить прототип манипулятора с рабочим элементом диа- метром 2 мкм и длиной в 20 мкм. Проект такого манипулятора уже описан в литературе. Рука пози- ционирующего устройства может иметь шесть сте- пеней свободы. Каждая будет управляться своим "храповиком", приводимым в действие давлением инертного газа, цилиндрами будут служить угле- родные нанотрубки. На первый взгляд все выгля- дит достаточно просто, однако такая "рука" еще не создана.

Нанотехнологическая революция — процесс длительный. В России в соответствии с Федераль- ной целевой программой на развитие нанотехноло- гий в 2009 г. было выделено порядка 105 млрд. р. По оценкам специалистов рынок нанотехнологий России в 2013—2015 гг. составит триллион рублей, а мировой рынок превысит триллион долларов.

Взгляд с общенаучных методов познания по- зволил авторам статьи обозначить новые подходы и концепции в создании оборудования для нано- технологий, наиболее ярко отраженных в работах [6—11].

УДК 621.974

Ю. В. КОЛОТОВ, канд. техн. наук, (МГТУ "Станкин"),
e-mail: sen@stankin.ru

Устройство для испытаний бесшаботного молота с гидравлическим механизмом связи

Представлено устройство для циклового испытания на надежность машин ударного действия.

Ключевые слова: молот, механизм связи, надежность, вибрация, испытания.

A device for cyclic fail-safety testing the shock action machines is presented.

Keywords: hammer, a coupling mechanism, reliability, vibration, tests.

При сдаче машины в эксплуатацию проводят испытания на надежность, которые включают в себя проверку данного устройства на безотказность работы в течение определенного времени, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость [1]. В настоящее время существуют методики сдачи конструкций кузнечно-штамповочного оборудования

в производство, эксплуатацию по завершении капитального или профилактического ремонтов. С этой целью проводят стендовые и эксплуатационные испытания, комплексные экспериментальные исследования кузнечно-штамповочных машин [2]. Проведение стендовых испытаний шаботных молотов (ШМ) и бесшаботных молотов (БШМ) ввиду

их мелкосерийного производства требует больших затрат. Возможно, их и не проводят, так как не обнаружено публикаций по методике испытаний, например, бесшаботных молотов при сдаче их в производство.

Испытание молота на надежность в процессе эксплуатации при крупносерийной штамповке поковок экономически невыгодно. Поэтому было разработано устройство [3] для испытаний бесшаботного молота с гидравлической связью масс на надежность, с помощью которого наносятся удары, имитирующие силы, возникающие при технологической операции, например, горячей штамповке в автоматическом режиме.

Устройство (рисунок а) состоит из корпуса 5, в котором имеются глухое центральное отверстие 4, углубление 3, отверстия 7 и 6. Корпус 5 закреплен на нижней ударной массе 1, крышки 2.



(Окончание статьи. Начало см. на стр. 81)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Степин В. С., Горохов В. Т., Розов М. А. Философия науки и техники. М.: Контакт Альфа, 1995. 384 с.
2. Митчем К. Что такое философия техники / Пер. с англ. под ред. В. Г. Горохова. М.: Аспект Пресс, 1995. 149 с.
3. Кудрин Б. И. Научно-технический прогресс и формирование техносфер // ЭКО. 1980. № 8. С. 15—28.
4. Кудрин Б. И. Отбор: энергетический, естественный, информационный, документальный. Общность и специфика // Электрификация металлургических предприятий Сибири. Вып. 5. Томск: Изд-во. ТГУ, 1981. С. 111—187.
5. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю. А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005. 447 с.
6. Васин В. А., Ивашов Е. Н., Степанчиков С. В. Нанотехнологические процессы и оборудование электронной техники. М.: МИЭМ, 2009. 264 с.
7. Васин В. А., Ивашов Е. Н., Степанчиков С. В. Идеология проектирования автоматизированного оборудо-

ования современных вакуумных технологий // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 8. С. 3—8.

8. Васин В. А., Ивашов Е. Н., Степанчиков С. В. Тенденции проектирования внутрикамерных вакуумных систем в электронном машиностроении // Вестник машиностроения. 2008. № 9. С. 60—62.

9. Ивашов Е. Н., Васин В. А., Степанчиков С. В. Механические системы электронного машиностроения на основе многокоординатных исполнительных устройств // Вестник машиностроения. 2009. № 7. С. 3—10.

10. Васин В. А. Насосы и термосорбционные компрессоры на основе сплавов накопителей водорода для вакуумного технологического оборудования // Конструкции из композиционных материалов. 2008. № 3. С. 52—57.

11. Александрова А. Т., Васин В. А., Горюнов А. А. Новые принципы прецизионного дозирования вакуумных потоков // Тез. докл. науч.-техн. семинара "Контроль герметичности—98". СПб.: ОАО "Завод Измеритель", 1998. С. 7.