

Предисловие

*Посвящается моим учителям:
Хруничеву Юрию Андреевичу,
Шаумяну Грегору Арутюновичу*

Основная цель монографии — дать студентам старших курсов технических вузов, аспирантам и инженерам навыки, позволяющие им осуществлять грамотное, научно-обоснованное конструирование вакуумных механизмов с заданными техническими параметрами. Конкретная цель — дать читателям знания физики, позволяющие решать конструкторские задачи по обеспечению требований вакуумных технологий к механизмам по сохранению рабочего вакуума в диапазоне давлений от 10^5 до 10^{-10} Па, обеспечению высокой надёжности создаваемых механизмов, что позволит увеличить их технический и инновационный потенциал. В монографии излагаются утерянные в годы «перестройки» понятия о физике работы вакуумных механизмов, необходимые сейчас инженерам-конструкторам для подъёма промышленности РФ. Инженер, бакалавр, магистр, конструирующий вакуумный механизм, должен научиться учитывать связь параметров создаваемого им механизма с показателями надёжности и производительности оборудования, для которого создан механизм. Поскольку важнейшим показателем вакуумного механизма является предельный вакуум, в котором он способен работать, то читатель должен чётко представлять эти возможности.

Задача монографии состоит в передаче читателю комплекса методических приёмов и навыков расчёта газовыделения из всех составляющих элементной базы вакуумных механизмов: сильфонов, различных пар трения, уплотняющих (герметизирующих) элементов. Другой целью монографии является передача читателю навыков овладения созданным в МГТУ им. Н.Э. Баумана методом конструирования принципиально новых вакуумных механизмов, который вобрал в себя все известные на сегодняшний день изобретательские методы.

Наметившееся возрождение промышленного потенциала России требует от конструкторов получения физических знаний для создания вакуумного оборудования, и автор надеется, что материалы, представленные в монографии, позволят читателям создавать новые вакуумные механизмы, отвечающие самым высоким требованиям, и сохранить преемственность и высокий уровень конструирования, которые характеризуют российскую конструкторскую школу.

Введение в физику вакуумной механики

Почему мы выделяем физику трения в механизмах как специфический фактор, влияющий на надёжность и производительность вакуумного оборудования?

Ответ на этот вопрос освещён в главе 6, где мы рассматриваем понятие «производительность оборудования» как важнейший собирательный фактор, обобщающий не только технические, но и физические параметры всех механизмов и оценивающий их влияние на реализацию параметров вакуумных технологий через фактор трения. Сам процесс трения мы можем использовать как базовый, лежащий в основе пяти новых технологий, созданных и запатентованных в МГТУ им. Н.Э. Баумана в период 2004–2012 гг. и укладываемых в прокрустово ложе нанотехнологий. В образовательном и методическом плане знание физики этого процесса функционально необходимо для появления новых интеллектуальных и компьютерных методов исследования и конструирования вакуумных механизмов как в сверхвысоком вакууме, так и в других средах: ближнем космосе, ядерных технологиях, трубах газопроводов, мукомольной, пищевой и других отраслях, внешне не связанных с вакуумом. Задача монографии состоит в том, чтобы читатель изучил физическую общность упомянутых технологий.

Общность физики трения в технологическом вакууме, космосе, ядерных технологиях не вызывает вопросов, но те же физические основы «сухого трения» работают и используются в новых, разработанных и запатентованных в МГТУ новых технологиях. Вот эти технологии:

- технология измерения вакуума (и коэффициента покрытия поверхностей сорбированными газами) [1];
- технология предсказания отказов вакуумных механизмов [2];
- вакуумная технология предсказания отказов шарикоподшипниковых узлов [3];
- технология предсказания отказов магистральных газопроводов [4];
- вакуумная технология получения наноструктурированного топлива [5].

Указанные технологии представляют совершенно новые направления развития не только в вакуумной технике, но и в физике по-

верхности. По всем направлениям приводятся методики и примеры расчёта параметров пар трения на наномасштабном уровне.

В курсах «Детали машин», «Теория машин и механизмов» и монографиях по трибологии* [6] процесс трения традиционно рассматривают как механическое взаимодействие поверхностей, происходящее при их взаимном скольжении и вызывающее появление сил трения, тепла, газовыделения, электрических явлений и даже землетрясений [7]. Представленный в монографии материал отличается тем, что развивает и дополняет традиционные представления о трении, скромно излагаемые в вузовском курсе «Детали машин». Кроме традиционно излагаемой в этом курсе «видимой» части процесса трения (той, которую может измерить оператор) в монографии рассматривается влияние «невидимых» (т. е. неизмеряемых) оператором явлений, происходящих в приповерхностных областях фрикционных пар на атомно-молекулярном уровне и влияющих на «видимую» часть процесса. Так, в главе 5 рассмотрены физические процессы, определяемые количеством сорбата (сорбированных на поверхности молекул газа) и энергией его взаимодействия с поверхностями, что позволяет конструкторам использовать полученные зависимости для прогнозирования физических параметров процессов в вакуумных технологиях.

Показано, что видимая часть процесса трения («сухого трения») определяется несколькими основными физическими явлениями:

- капиллярностью;
- вязкостью;
- адгезией сорбата;
- когезией материалов контактирующих поверхностей.

Знание физики процессов позволяет конструктору использовать их для создания новых вакуумных измерительных приборов [8] и технологий [1, 2]. В главе 1 показано, что «невидимая» часть сухого трения описывается физикой процесса «наводораживания», является общей для всех нижеперечисленных процессов и служит причиной:

- отказов (катастрофического износа, заклинивания, всплеска газовыделения) вакуумных механизмов;
- «водородной болезни», т. е. потери прочности металла пар трения в различных технологиях, в том числе при механической обработке;

* Трибология — наука, раздел физики, занимающийся исследованием и описанием контактного взаимодействия твёрдых деформируемых тел при их относительном перемещении.

- разрушения магистральных трубопроводов, в частности, в технологиях транспортировки газа в результате трения пылинок газа о стенки трубы на наномасштабном уровне;
- обогащения водородом наночастиц при трении, в частности, в вакуумной технологии производства наноструктурированного экологически чистого альтернативного топлива в результате трения микрочастиц топлива о диски мельниц в вакууме на наномасштабном уровне [5].

Глава 6 демонстрирует особенность современной техники, заключающейся в узкой специализации технических особенностей технологий, что часто ведёт к непониманию проблем смежных отраслей. Это явление не новое для развития общества, ярко описано в Библии как строительство Вавилонской башни и продолжает развиваться в обществе до наших дней, вызывая «разноязычность» специалистов разных отраслей, несмотря на развитие новых прогрессивных технологий, что должны понимать читатели монографии, собравшей воедино разноязыкие понятия.

Разнообразие спектра технологий рассмотрим на примере представлений о природе сухого трения, где критерии оценки результатов трения ещё не устоялись. Это, в частности:

- вакуумные технологии электронного машиностроения;
- технологии механической обработки стальных изделий;
- технологии транспортировки газа в магистральных трубопроводах [4];
- технологии получения экологически чистого автомобильного топлива [5].

Разработанная автором модель физики процессов, происходящих при «сухом» трении, представляет удобный инструмент (язык) для практического использования в разных отраслях. Рассмотрим примеры использования созданных представлений по направлениям машиностроительных технологий.

Вакуумные технологии электронного машиностроения, являющиеся первыми и основными потребителями вакуумных механизмов [9–11], требуют от инженера-конструктора глубоких представлений о наномеханике и физике процесса трения, которые помогают использовать как новый способ [1], так и устройство [8] для измерения вакуума, основанные на контроле параметров механизмов, работающих в вакууме. В этих технологиях предлагается использовать сверхширокодиапазонный датчик измерения рабочего вакуума и датчик измерения коэффициента покрытия поверхности сорбатом.

Представления о физике процессов на контактирующих поверхностях при «сухом» трении были начаты в разных странах ещё в