

Стенд для исследования процессов, происходящих при отказах вакуумных механизмов

Р. О. Емельяненко, Е. Р. Тютюкин, Е. А. Деулин
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
E-mail: deulin@bmstu.ru

В работе представлен стенд, предназначенный для диагностирования вакуумных механизмов вращения и поступательного движения. Стенд позволяет осуществить моделирование процессов разрушения кинематических пар механизмов с помощью компьютерного программирования потоков газовой выделения из «виртуальных механизмов», создаваемых при помощи автоматизированного пьезонапекателя.

Installation for gas flows investigation by vacuum mechanisms failure. R.O. Emelyanenko, E. R. Tyutyukin, E.A. Deulin. The installation is presented to diagnose vacuum rotation and forward movement mechanisms. The installation allows one to model disintegration processes of kinematic pairs of mechanisms by system programming of gas emission fluxes from „virtual mechanisms“, obtained by automated piezovalve.

Представляемый авторами стенд позволяет проводить комплекс исследований по диагностике (предсказанию отказов) приводов вращения и поступательного движения из атмосферы в безмасляный сверхвысокий вакуум. Принцип диагностики вакуумных механизмов по параметру «вакуум» основан на базовом патенте № 1835065 [1] и положениях физики «сухого трения» подробно изложенных в Главе 5 монографии Деулина Е.А. [2], опубликованной в 2018г

Задачи работ на стенде заключаются не только в диагностировании различных механизмов, устанавливаемых на стенд, но и в моделировании процессов разрушения кинематических пар механизмов с помощью компьютерного программирования потоков газовой выделения из «виртуальных механизмов», создаваемых установленным на стенде автоматизированным пьезонапекателем, имитирующим импульсные потоки из кинематических пар с частотой импульсов от 1Гц до 2 кГц и длительностью до 0.05с. На стенде возможно одновременное наблюдение за реально-работающим механизмом и импульсно-подаваемым в рабочую камеру газовым потоком, имитирующим работу механизма, что углубляет у обучающихся студентов знания вакуумной техники и технологий. Отдельно мы рассмотрим конструкции и схемы механизмов, используемые на стенде для диагностики. Характерным примером является гамма СВВ стандартных сильфонных вводов вращения, созданных в МВТУ(СССР) [3], (ОСТ 11. ПО. 426.000-72), схема и общий вид которых показаны на рис. 1

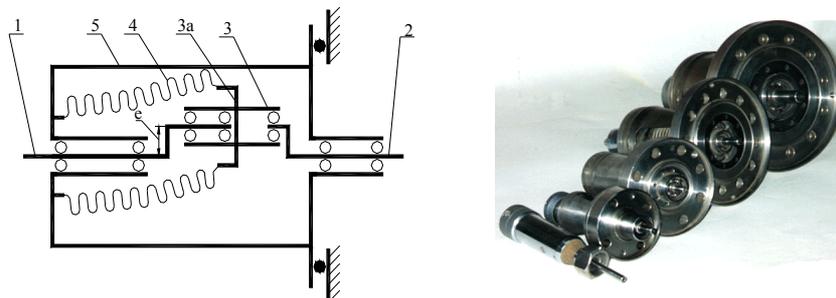


Рис. 1. На схеме обозначены: 1,2- ведущий и ведомый валы, 3, 3а- колеблющаяся передаточная втулка 4-герметизирующий сильфон, 5-герметичный корпус.

Как видно из рис.1 кинематическими парами, обращёнными в вакуум являются шарикоподшипники поддерживающие вал 2. Схема формирования потоков газовой выделения из них представлена на рис.2

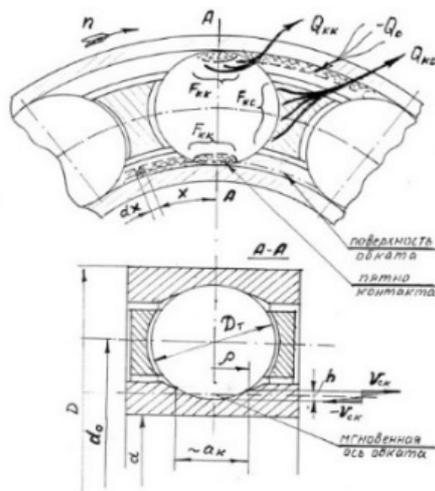


Рис.2 Схема формирования потоков газовыделения из шарикоподшипника, работающего в вакууме: Q_{kc} - поток, образующийся при трении «ведущего» шарика о сепаратор, Q_{kk} - поток, образующийся при «дифференциальном» трении шариков о кольца

Показано, что поток газовыделения из работающего ввода вращения (шарикоподшипника) создается суммированием потоков Q_{kc} и Q_{kk} , образующихся при трении шариков о кольца и сепаратор, при этом формируемое в рабочей камере давление P , приобретает характерную пульсирующую форму, Рис.3, откликающуюся после запуска (startrotation) на изменение потока газовыделения от Q_{min} до Q_{max} , при его среднем значении Q_{mean} .

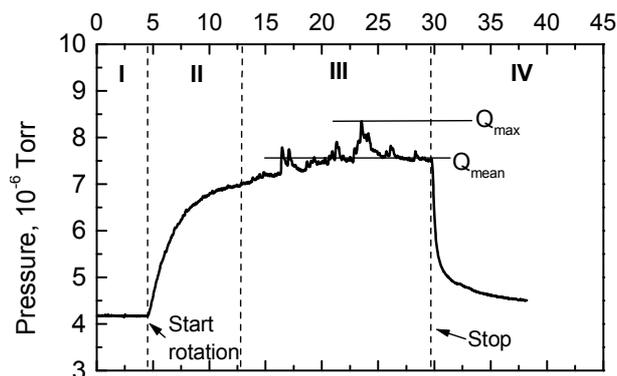


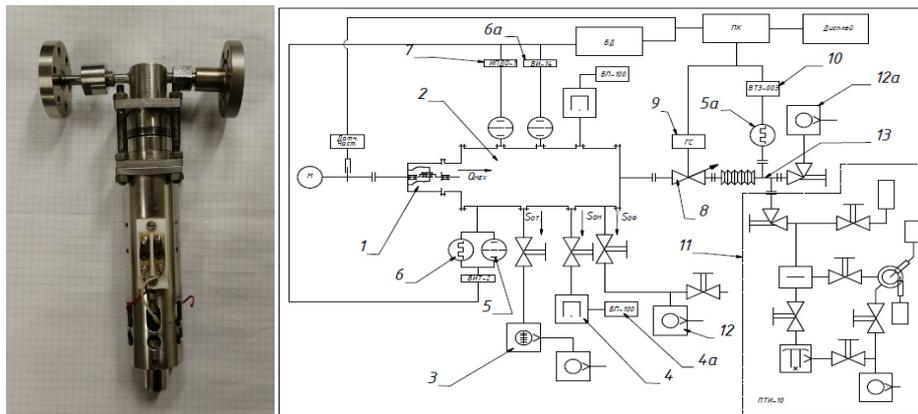
Рис. 3, Рабочее давление в вакуумной камере как функция процесса «пуск – остановка» для привода вакуумного механизма, использующего подшипники качения.

Практическая задача диагностирования вакуумного сигнала – заключается в расчетном «восстановлении» амплитуд и частот исходных параметров импульсного потока газовыделения, знание которых позволяет судить о «состоянии здоровья» диагностируемого механизма.

Вакуумный стенд, рис.4 позволяет не только изучать потоки газовыделения из установленных на ней механизмов, показанных на рис.1, но и с помощью импульсного пьезо – натекателя (Рис.4а) моделировать подобные потоки, решая обратную задачу – определения амплитуды импульсного потока по показаниям датчика давления в камере стенда.

Стенд, показанный на рис. 4 служит для диагностирования механизма 1, установленного на вакуумной камере 2, откачиваемой турбомолекулярным насосом 3 и магниторазрядным насосом 4. Рабочее давление измеряется датчиками 5и6. Масс-спектрометрический датчик 7 служит для исследования парциального состава газов, выделяемых исследуемым механизмом 1 либо газов, подаваемых в рабочую камеру импульсным натекателем 8, «имитирующем» работу механизма 1 с помощью блока управления 9. Вакуумметр 10 с датчиком 5а и течейскапель ПТИ-10 (поз.11) служат для контроля газового потока подаваемого в камеру 1 через натекатель

8, позволяющего генерировать импульсы газового потока с частотой до 10^4 Гц и амплитудой до 10^2 м³Па/с. Форвакуумные насосы 12 и 12а работают постоянно.



а)

б)

Рис 4.а) Импульсный натекатель (поз.8 на схеме); б)Схема стенда для исследования процессов, происходящих при отказах вакуумных механизмов

Точно дозированные блоком управления 9 импульсы газового потока, подаваемые из вспомогательной камеры 13 создают в рабочей камере колебания давления, по параметрам которых (амплитуда, частота) оператор с помощью известных законов вакуумной механики **может решать обратную задачу**: по параметрам амплитуды и частоты изменения давления в вакуумной камере с работающим в ней механизмом рассчитывать параметры потоков газов, выделяющихся из механизмов и определять степень их разрушения и предсказывать дату отказа.

Реализуемая на стенде и запатентованная ранее [1] система диагностики отказов механических элементов вакуумного оборудования основана на частотном анализе импульсно меняющегося потока газовой выделения, рассчитываемого на основе значений диаграмм, типа представленной на рис.3 по известным в вакуумной технике формулам[2]. При использовании упомянутого метода мы сталкиваемся с трудностью обнаружения потоков газовой выделения в рабочей камере из конкретных элементов механизма и трудностью расшифровки получаемых результатов. что объясняется несколькими факторами: 1. Малые потоки газовой выделения из механизмов становятся заметными лишь в СВВ; 2. Происходят изменения амплитуды и формы сигнала потока вследствие постоянно действующего процесса откачки; 3. Характеристики средств измерения давления и оцифровки сигналов влияют на точность оценки получаемого значения газового потока..

Методические основы исследования отказов вакуумных механизмов

Инструментом, удобным для «восстановления» исходного сигнала газового потока, выделяющегося из вакуумного механизма является прецизионный импульсный вакуумный пьезо – натекатель 8, рис.4., преимуществом которого является способность создавать импульсные малые потоки газа, имитирующие импульсы газовой выделения из механизма с частотой до 10^4 Гц и амплитудой газового потока до 10^2 м³Па/с. что помогает при численном решении задачи моделирования процесса газовой выделения из механизмов с переменными циклическими параметрами, т.е. позволяет математическими и электронными методами решать задачу получения параметров потока газа, поступающего в вакуумную камеру в широком диапазоне частот и амплитуд импульсов измеряемого давления. Для развития способов решения задачи рассмотрим графики на рис. 5, где показана зависимость отношения амплитуд входного и выходного сигналов при изменении частоты входного сигнала газового потока, от 0,1 до 10 Гц, при скорости откачки 1 м³/с и объеме вакуумной камеры 0,5 м³. Сложность применения частотного анализа для расшифровки сигнала потока в вакуумной камере связана с трудностью выделения спектров потоков газовой выделения из различных элементов механизма. Это объясняется тем, что имеет место «смазывание» сигнала – уменьшение амплитуды сигнала давления под влиянием объём-

ма камеры - влияние параметров S_0 - быстрота откачки, V - объём вакуумной камеры. Поток газовой выделения Q из вакуумного механизма поступает в вакуумную камеру объёмом V , которая откачивается со скоростью S_0 . Уравнение газового баланса в камере описывается

$$Q = pS_0 + V(dp/dt) \quad (1)$$

где Q - суммарный поток в вакуумной камере; P - давление в вакуумной камере; V - объём вакуумной камеры; S_0 - скорость откачки.

Уравнение (1) можно преобразовать в уравнение апериодического звена:

$$T(dx_2/dt) + x_2 = Kx_1 \quad (2)$$

где x_1 - входное воздействие на систему; x_2 - выходной сигнал (отклик) системы; T - постоянная времени системы; K - коэффициент усиления системы.

Для вакуумной системы входным воздействием будет поток газовой выделения из элемента механизма Q , а выходным сигналом (откликом системы на входное воздействие) - давление P в вакуумной камере. Разделив обе части уравнения газового баланса (5) на S_0 получим коэффициенты уравнения: $T = V/S_0$ - постоянная времени вакуумной системы, $K = 1/S_0$ - коэффициент усиления вакуумной системы. Амплитудно-частотная характеристика апериодического звена определяется с помощью формулы

$$H(\omega) = 1/(T^2\omega^2 + 1)^{1/2} \quad (3)$$

где ω - частота.

Из теории управления [4] известно, что передаточная функция апериодического звена, каким является рассматриваемая нами вакуумная система, имеет вид

$$W = K/(TS + 1) \quad (4)$$

Из теории газообмена [2] известно также, что процесс механически стимулированной десорбции происходит при выходе поверхностей из контакта, поэтому для системы диагностики важно учитывать факт, что выделение газа из пар трения происходит в такт процессу контактирования поверхностей вакуумных механизмов, и поэтому, для моделирования потоков газовой выделения из работающих кинематических пар наиболее близким сигналом является сигнал в форме меандра. Рассмотрим процесс преобразования исходного сигнала газового потока, задаваемого в форме меандра, который наиболее точно отражает пульсацию потока в вакуумной камере.

На рис. 5 (верх, слева) показан входной сигнал потока при частоте $F = 0,1$ Гц поступающий в вакуумную камеру из вакуумного механизма и соответствующий ему отклик системы в виде сигнала давления. Амплитуды обоих сигналов абсолютно равны, но на сигнале давления заметны результаты воздействия вакуумной системы в виде экспоненциальных кривых на фронте и спаде сигналов. Поскольку период сигнала достаточно большой переходные процессы успевают закончиться до наступления спада импульса, поэтому сигнал выходит на исходный уровень. С увеличением частоты исходного сигнала до $F = 1$ Гц рис. 5 растёт время переходного процесса в начальный момент времени и вследствие малого периода сигнал не выходит на первоначальное значение т.е. амплитуда сигнала давления уменьшается. С последующим увеличением частоты исходного сигнала потока до $F = 10$ Гц, указанные тенденции сохраняются и амплитуда сигнала давления продолжает убывать при росте постоянной составляющей этого сигнала. Из диаграмм видно, что с ростом частоты изменяется только форма и амплитуда сигнала давления, а форма и амплитуда сигнала потока остаётся прежней. Как уже было показано выше изменение частоты сказывается на амплитуде сигнала давления, и, имея графики изменения амплитуды сигнала давления можно судить о величине потока из элемента механизма.

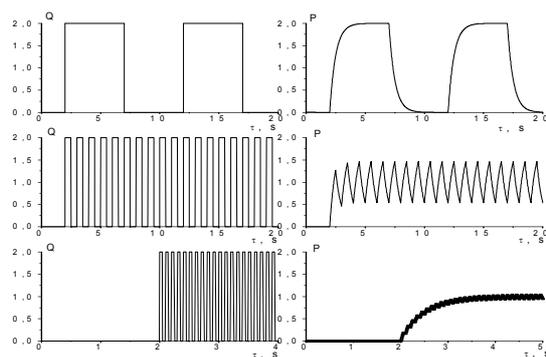


Рис. 5. Трансформация исходных сигналов потока Q (задаваемого в форме меандра, левый столбец) в сигнал давления P являющийся сигналом отклика вакуумной системы при различных частотах исходного сигнала: а- (верхние диаграммы) при частоте $F=0,1$ Гц; б- (средняя часть) при частоте $F=1$ Гц; в- (нижняя часть) диаграммы при частоте $F=10$ Гц.

В реальных условиях воспользоваться указанным выше методом трудно т.к. у пользователя имеются только общие данные об изменении давления в вакуумной камере. Информацию о потоках различных элементов механизма может дать спектральный анализ суммарного потока[4]. Представленная модель диагностики описывает поведение давления в безразмерном виде, что позволяет применять её для всех видов вакуумных систем. Преимуществом использования безразмерного давления является отсутствие проблем калибровки вакуумметров по различным газам, поскольку в безразмерных координатах кривые $p(t)$ для всех газов одинаково нормированы. Мы видим, что динамика газовой выделения связана с деструктивными процессами в зоне трения и изменением геометрических характеристик контактных поверхностей.

Вывод. Описанная система диагностики позволяет по измеряемой зависимости давления газов восстанавливать поток импульсного газовой выделения, который является диагностируемым показателем «здоровья» механизма

Литература

- 1 Патент РФ № 1835065 Метод диагностики вакуумных механизмов
2. Деулин Е. А. Физика вакуумных механизмов – «Горячая линия Телеком» 2018г.- 268с)
3. Стандарт СССР. (ОСТ 11. ПО. 426.000-72)
4. Солодовников В.В., Плотников В. Н., Яковлев А. В., Теория автоматического управления техническими системами – М. Изд-во МГТУ, 1993 – 492 с.