

## Разработка нового типоразмерного ряда ДВН типа Рутс

*А.В.Бурмистров, А.А.Райков, С.И.Саликеев, \*Е.Н.Капустин, \*А.А.Исаев*  
Казань, КНИТУ, ул. К. Маркса, 68  
\*Казань, АО «Вакууммаш», ул. Тульская, 58  
Email: burm@kstu.ru

Рассматривается конструкция двухроторного вакуумного насоса типа Рутс, входящего в линейку разрабатываемой отечественной серии насосов НВД, которая будет включать машины с геометрической быстротой действия от 500 до 5000 м<sup>3</sup>/ч. Проведенные расчеты позволили выбрать профиль ротора ДВН, обеспечивающий сочетание минимума обратных перетеканий и максимума коэффициента использования отсеченного объема. Обсуждаются технические решения, используемые в разрабатываемой машине.

*Development of a new dimension-type series of Roots pumps. A.V.Burmistrov, A.A.Raykov, S.I.Salikeev, E.N.Kapustin. The design of a Roots pump included in Roots pumps domestic series NVD (mechanisms with pumping speed from 500 to 5000 m<sup>3</sup>/hour) is considered. Calculations made it possible to choose the rotor profile of the pump which provides combination of minimal backward leakage and maximal coefficient of cut-off volume use. Engineering solutions used in the developed mechanism are discussed.*

Двухроторные вакуумные насосы типа Рутс (ДВН) находят широкое применение в самых различных приложениях вакуумной техники от химической промышленности и металлургии до установок имитации космического пространства и систем формирования наноструктурированных покрытий.

ДВН используют в качестве первой ступени, последовательно присоединяя к ним форвакуумные насосы различных типов, поскольку ДВН из-за особенностей принципа действия не способен продолжительно работать с выхлопом в атмосферу и ему необходимо предварительное разрежение. Долгие годы типовой агрегат включал в себя ДВН и вакуумный насос с масляным уплотнением (пластинчато-роторный или золотниковый). В последние годы в качестве форвакуумных все чаще применяют бесконтактные безмасляные насосы, например винтовые или кулачково-зубчатые [1]. Создаются агрегаты, использующие безмасляные спиральные вакуумные насосы [2].

Ведущие зарубежные производители выпускают ДВН с теоретической быстротой от 250 до 30000 м<sup>3</sup>/ч. В России лишь на АО «Вакууммаш» (г.Казань) серийно выпускаются двухроторные насосы НВД с быстротой действия 200 и 600 м<sup>3</sup>/ч [3]. В 70-80-х годах двадцатого столетия в СССР в г. Мелитополь выпускались насосы – ДВН-500 и ДВН-1500, проектировался малый насос ДВН-5 и большой ДВН- 5000.

Такая номенклатура явно недостаточна для покрытия потребности промышленности. В первую очередь, требуются отечественные насосы гораздо большей производительности. Стоит также выделить целый ряд общих недостатков отечественных машин: недостаточная защита от проникновения масла из масляных картеров в рабочую полость насоса, шум, существенно превышающий уровень зарубежных аналогов, единственный способ предотвращения перегрузки насоса – перепускной клапан. Кроме того, в ряде насосов используется неоптимальный профиль роторов, который выбирался исходя из возможностей его изготовления. Так, например, в насосах НВД-200 и НВД-600 заложен теоретически необкатываемый профиль, что приводит к тому, что при неизменном межцентровом расстоянии зазор не остается постоянным при повороте роторов. Например, при  $A=75,093$  мм межроторный зазор изменяется от 0,225 до 0,322мм (рис. 1). Таким образом, и обратные перетекания через межроторный канал при повороте роторов в насосе изменяются не только за счет изменения геометрии канала, но и за счет постоянного «плавания» зазора. Соответствующие зависимости коэффициента проводимости  $K_{зрр}$  также представлены на рис.1 [4].

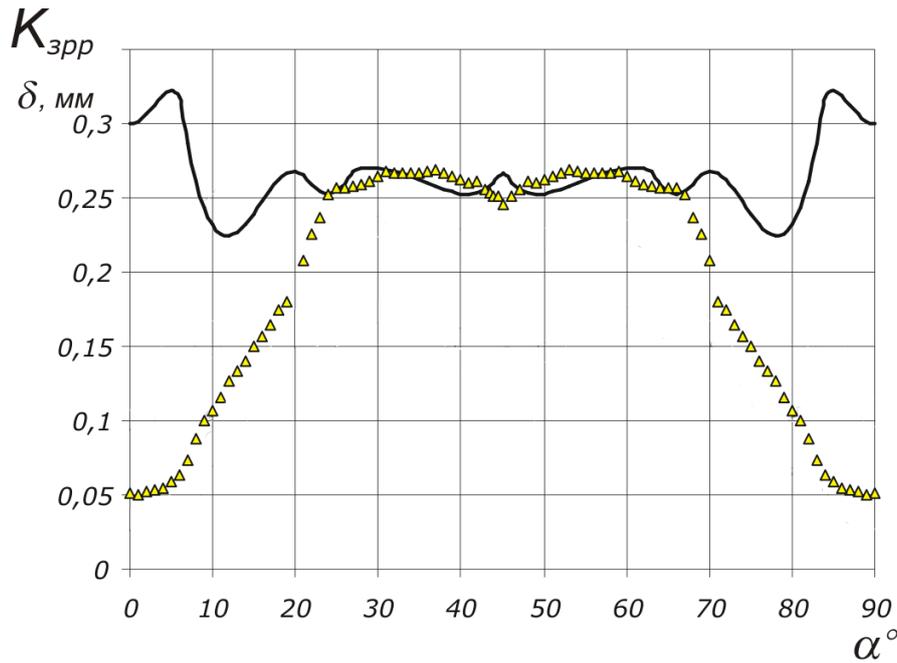


Рис. 1. Изменение зазора (линии) и коэффициента проводимости (маркеры) межроторного канала ДВН-50 с  $A = 75,093$  мм.

Курс России на импортозамещение настоятельно требует разработки конструкций и освоения выпуска целого ряда современных энергоэффективных двухроторных вакуумных насосов, способных запускаться на любых входных давлениях, имеющих малый уровень шума, обеспечивающих получение действительно безмасляной откачиваемой среды, имеющих удельные характеристики на уровне лучших мировых аналогов.

С этой целью АО «Вакууммаш» совместно с КНИТУ проводят работы по созданию линейки отечественных ДВН с быстротой действия от 500 до 2500 м<sup>3</sup>/ч, с перспективой расширения до 5000 м<sup>3</sup>/ч. Первым насосом в линейке разрабатывается НВД-1000 - насос с производительностью 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Начальным этапом разработки любой бесконтактной двухроторной машины является профилирование роторов, поскольку откачные характеристики, в первую очередь, зависят от величин объема газа, переносимого роторами за один оборот, и перетечек газа через щелевые каналы роторного механизма. Основные задачи профилирования: разработка роторов, обеспечивающих максимально возможную «герметичность» между полостями всасывания и нагнетания при обеспечении максимального коэффициента использования объема; изолированные (перевальные) объемы в зацеплении должны быть минимальными; профиль должен быть технологичен.

Как показано в работе [5] наибольшую свободу выбора формы роторов ДВН обеспечивает эллиптический профиль (рис.2), у которого независимо могут быть заданы четыре параметра. Исходя из необходимости обеспечения геометрической быстроты действия 1000 м<sup>3</sup>/ч для насоса НВД-1000 выбраны следующие значения размеров роторного механизма:  $R = 77$  мм,  $A = 2a = 100,1$  мм (рис. 2).

Исходя из обеспечения двух противоречивых требований – минимизации проводимости межроторного канала и обеспечения максимального коэффициента использования отсеченного объема  $\chi = 1 - f_p / \pi R^2$  ( $f_p$  – площадь поперечного сечения ротора) выбраны следующие геометрические отношения  $b/a = 0,87$  и  $r/a = 0,657$ . Профиль ротора с данными параметрами показан на рис. 2. Он имеет коэффициент проводимости межроторного канала  $K_{зpp} = 0,16$ , радиального  $K_{зрк} = 0,069$  и коэффициент использования отсеченного объема  $\chi = 0,516$ .

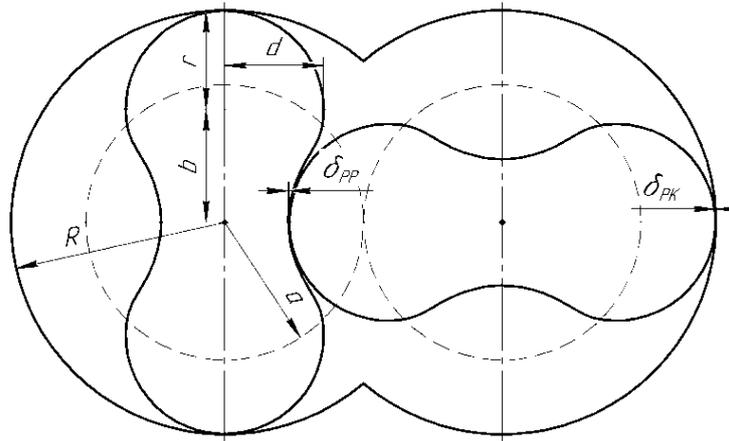


Рис. 2. Профиль роторов насоса НВД-1000.

Аналогичный по скорости действия зарубежный аналог – насос RUVAC фирмы «Leybold» [6] имеет следующие параметры:  $A=106,2$  мм,  $R = 80$  мм. Проведенные на координатно-измерительной машине Contura G2 фирмы Carl ZEISS замеры профиля роторов насоса RUVAC 1001, нанесенные точками на рис. 3, показали, что наиболее близкий эллиптический профиль имеет следующие размеры параметров  $r = 44,17$ ,  $d = 37,6$ ,  $b = 35,74$ , т.е.  $b/a = 0,672$ ,  $r/a = 0,831$  (рис. 4). Проведенные расчеты показали, что данные ротора имеют следующие показатели: коэффициент проводимости межроторного канала  $K_{зрр} = 0,176$ , радиального  $K_{зрк} = 0,0857$  и коэффициент использования отсеченного объема  $\chi = 0,515$ .

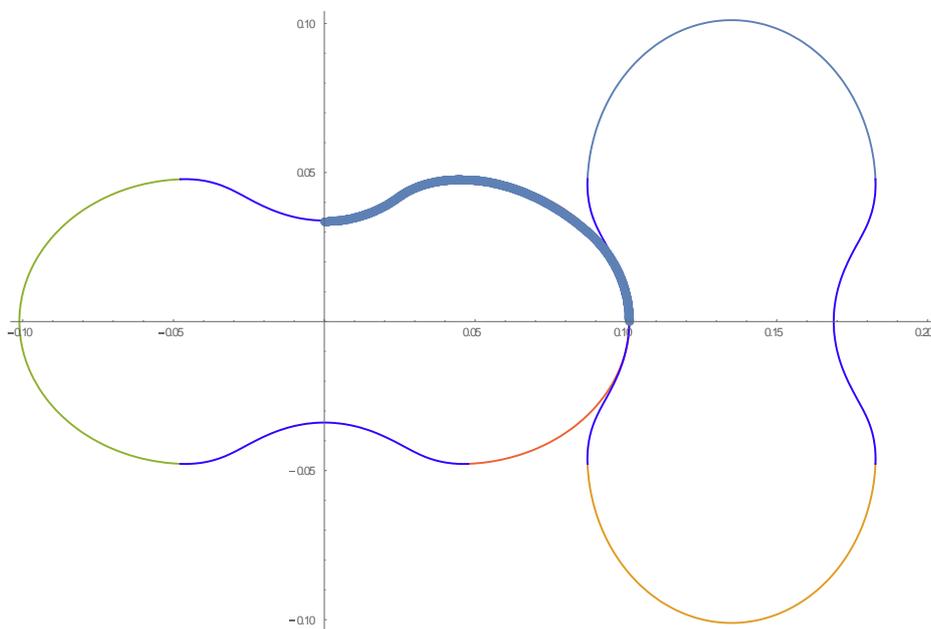


Рис. 3. Геометрия роторов насоса RUVAC 1001 фирмы «Leybold».

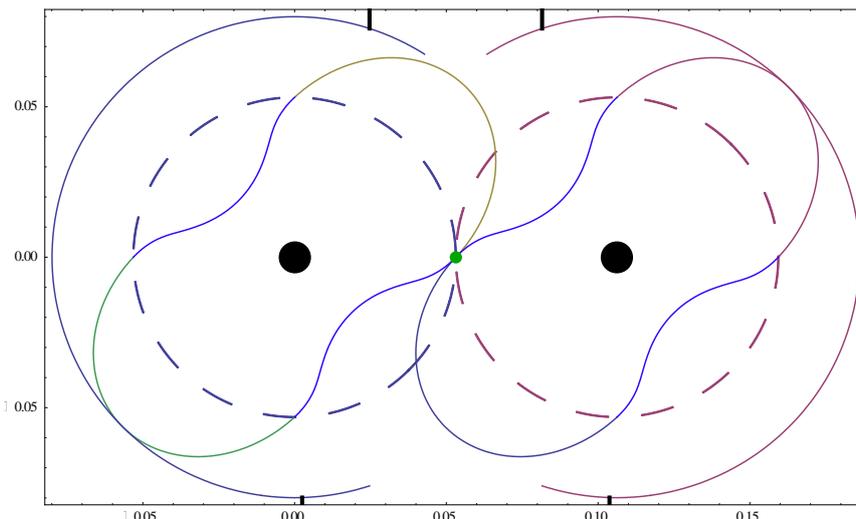


Рис. 4. Ротора с эллиптическим профилем, наиболее близким к профилю роторов насоса RUVAC 1001.

Таким образом, профиль насоса НВД-1100 в сравнении с RUVAC 1001 выигрывает по всем трем показателям. Коэффициент  $\chi$ , определяющий величину отсеченного объема, для НВД-1100 больше, а коэффициенты проводимости  $K_{зрр}$  и  $K_{зрк}$ , определяющие перетекания через межроторный и радиальный каналы соответственно, меньше.

Следующей важной задачей при проектировании насоса является разработка системы предотвращения перегрузки привода насоса при работе на повышенных входных давлениях в периодах работы связанных с набором вакуума в вакуумной системе. Это актуально, в первую очередь, в связи с тем, что в насосах типа Рутс осуществляется энергетически неэффективное внешние сжатие.

Задачу предотвращения перегрузки насоса решает частотно-управляемый привод на базе асинхронного электродвигателя (рис. 5) в отличие от насосов НВД-200, НВД-600, в которых используется перепускной механический клапан, который сильно увеличивает габариты и массу насоса. При повышении нагрузки на насос при работе на повышенных входных давлениях датчик тока, встроенный в частотный преобразователь, дает команду на уменьшение частоты вращения роторов, что снижает газовую нагрузку на привод и насос в целом.

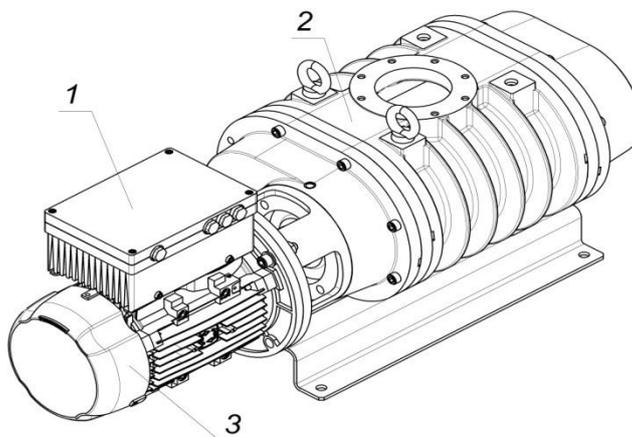


Рис. 5. Насос вакуумный двухроторный НВД-1000:  
1 – частотный преобразователь; 2 – роторный механизм; 3 – асинхронный электродвигатель.

Поскольку НВД-1000 имеет воздушное охлаждение при достаточно большой мощности электродвигателя (4 кВт) актуальным стало снижение тепловыделения в опорах качения. По этой причине сдвоенные сферические шариковые подшипники и радиальные роликовые подшипники, расположенные на опорах валов НВД-200 и НВД-600, были заменены на радиальные шариковые подшипники с осевым преднатягом посредством волновой пружины сжатия для осевой фиксации вала, поскольку они обладают меньшими потерями на трение.

Во всех отечественных НВД всегда большой проблемой было попадание масла из масляных картеров в рабочую полость насоса и на роторы, по этой причине система динамических лабиринтных уплотнений между масляным картером и рабочей полостью насоса также подвергнута модернизации.

Система динамических уплотнений между рабочим объемом насоса и масляным картером представляет собой комбинацию лабиринтного уплотнения, состоящего из четырех вращающихся колец 1 и маслоотражателя 2 (рис. 6). Также имеется сеть перепускных каналов 3 для откачки воздуха из масляного картера при наборе вакуума и стекания масла из подшипников и маслоотражателя для предотвращения его попадания в рабочий объем насоса. Откачка воздуха из масляного картера осуществляется через зазоры лабиринтного уплотнения.

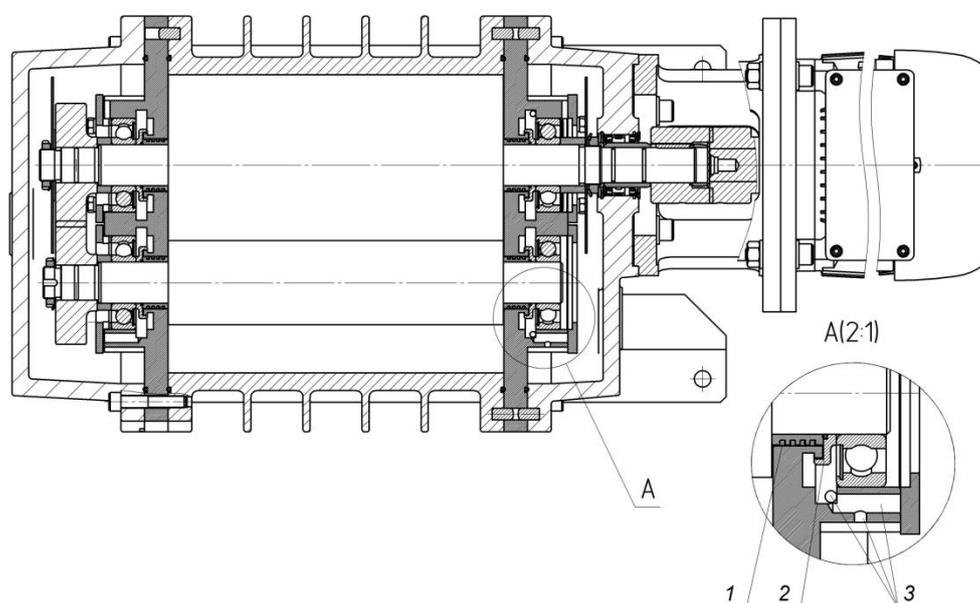


Рис. 6. Поперечный разрез насоса НВД-1000:  
1 – кольцо; 2 – маслоотражатель; 3 – перепускные каналы.

Представленные в настоящей статье разработки позволяют сделать вывод о перспективности разрабатываемой линейки отечественных двухроторных вакуумных насосов и рекомендовать «сухие» агрегаты на их ДВН типа Рутс для применения в высокотехнологичных отраслях промышленного производства, требующих безмасляного вакуума.

#### Литература

1. Вакуумная техника: Справочник / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др.; под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009. 590 с., ил.
2. Бурмистров, А.В. Экспериментальное исследование откачных характеристик первого отечественного безмасляного агрегата на базе двухроторного и спирального вакуумных насосов / А. В. Бурмистров, С. И. Саликеев // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2016, № 9(678) – С.26-30.

3. НВД-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://vacma.ru/products/roots\\_pump/nvd/382/](https://vacma.ru/products/roots_pump/nvd/382/), свободный
4. Бурмистров А.В. Создание и исследование бесконтактных вакуумных насосов: дис...докт.техн.наук / А. В. Бурмистров; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2006. - 363с.
5. Бурмистров А.В., Караблинов Д.Г., Бронштейн М.Д. Влияние геометрических параметров эллиптического профиля на характеристики двухроторных вакуумных насосов типа Рутс // Компрессорная техника и пневматика. – 2004. - № 6. - С. 38-40.
6. RUVAC WS 1001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.leyboldproducts.de/en/Products/Roots-Vacuum-Pumps/RUVAC-WS-WSU/Pumps/653/RUVAC-WS-1001>, свободный

## Исследование вакуумных характеристик магнитореологических эластомеров и их использование в вакуумной технике

*А.М. Базиненков, В.П. Михайлов, А.П. Ротарь, Д.А. Иванова и А.В. Казаков  
Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2-я Бауманская, 5  
E-mail: ambazinenkov@bmstu.ru, mikhailov@bmstu.ru*

*Представлена модель газовыделения из приповерхностного слоя магнитореологического (МР) эластомера, который является перспективным материалом для использования в вакуумных системах. Даны результаты исследований парциальных давлений выделяющихся из МР эластомера газов. Показаны также результаты экспериментальных исследований параметров переходных процессов при работе высокоточного привода на основе МР эластомера, который одновременно является активным демпфером и может использоваться в вакууме.*

*Research of vacuum characteristics of magneto-rheological elastomers and their use in vacuum technology. A.M. Bazinenkov, V.P. Mikhailov, A.P. Rotar', D.A. Ivanova, A.V. Kazakov. A model of gas evolution from the surface layer of a magneto-rheological (MR) elastomer, which is a promising material for use in vacuum systems, is described. The results of research of the partial pressures of gases exhaled from the MR elastomer are given. The results of experimental studies of the parameters of transients in the operation of a high-precision drive based on MR elastomer, which is both an active damper and can be used in vacuum, are also shown.*

Магнитореологические (МР) эластомеры являются перспективными материалами для использования в вакууме в качестве регулируемых герметизирующих элементов вакуумных систем. Возможно также применение в вакуумных камерах позиционирующих и виброизолирующих механизмов для повышения качества проводимых исследований и технологических процессов [1,2]. В настоящее время вакуумные характеристики МР эластомеров мало изучены, в частности, не исследованы процессы десорбции и парциальный состав выделяющихся газов с поверхности и из объема материала с учетом его сложной пространственной структуры.

Фотография МР эластомера, полученная при помощи металлографического микроскопа с увеличением в 1600 раз, представлена на рис. 1. В прозрачном силиконовом каучуке видны сферические частицы карбонильного железа размером 1...10 мкм, структурированные под действием магнитного поля в цепочки. МР эластомеры относятся к классу так называемых «умных материалов» – “smart materials”, свойства которых изменяются под воздействием магнитного поля. МР эластомеры получают диспергированием магнитного порошка в жидком силиконовом каучуке с последующей полимеризацией композиции в форме [3]. В качестве магнитного наполнителя используется порошок карбонильного железа. Для улучшения