

Но при всех преимуществах, этот насос никто в России до сих пор не производил. Имеющийся опыт по разработке и изготовлению винтовых компрессоров здесь использовать невозможно, так как профили винтов и сложность конструкции несопоставимы. Сейчас идёт моделирование винтовых пар, подбор вспомогательного оборудования.

Турбомолекулярные насосы всем хорошо известны и даже производятся в России. Но для нас это абсолютно новый насос. И мы будем максимально использовать любой опыт, который есть в России. Проблема, однако, не только в отсутствии опыта, но и в полном отсутствии в стране производств современных подшипников, приводов, необходимых приборов и т.д. Это касается всех новых проектов.

Другая задача, которая не менее, а порой и более сложная – технологическая. Мало «нарисовать» насос – его потом надо ещё и сделать. Мы уже начали подбор оборудования, и оказалось, что даже самые продвинутые производители станков не готовы дать гарантию по изготовлению тестовых деталей с требуемой точностью.

Таким образом, подводя итоги вышесказанному, хочу ещё раз подчеркнуть, что АО «Вакууммаш» находится сегодня на новом этапе инновационного развития. Новые проекты находятся в самом начале и говорить о конкретных результатах пока рано. Идёт работа по выбору конструкции, расчёту проточной зоны и конструктивных элементов. Даже названия, присвоенные насосам на этом этапе условные. Но я считаю очень важно заявить о наших амбициях и желании выйти на рынок с самыми современными продуктами. Можно сожалеть, но опыт последних лет доказал необходимость разработки и освоения производства всех необходимых средств откачки в России. Убеждён, что несмотря на исключительную сложность поставленных задач, коллектив АО «Вакууммаш» справится с ними и в очередной раз подтвердит звание российского лидера вакуумного машиностроения.

## **Перспективы развития отечественных «безмасляных» средств создания вакуума**

*А.В. Бурмистров, \*Е.Н. Капустин, С.И. Саликеев, \*А.А. Исаев  
Россия, Республика Татарстан, г. Казань, Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, , ул. К. Маркса, 68,*

*E-mail: [burm@kstu.ru](mailto:burm@kstu.ru)*

*\*Россия, Республика Татарстан, г. Казань АО «Вакууммаш», , ул. Тульская, 58*

*Рассматриваются достоинства и недостатки основных видов безмасляных насосов среднего вакуума. Показано, что ведущиеся на АО «Вакууммаш» работы по освоению выпуска средств получения безмасляного вакуума, а именно, машин типа Рутс, спиральных и винтовых насосов для России очень актуальны. Представлены характеристики разработанных безмасляных машин и перспективы расширения номенклатуры выпускаемой продукции.*

*Prospects of domestic oil free pumping means. A.V. Burmistrov, E.N.Kapustin, S.I.Salikeev, A.A. Isaev. Advantages and disadvantages of main types of oil free vacuum pumps of medium vacuum are considered. Development work concerning oil free pumps, i.e. Roots pumps, scroll and screw pumps, at joint stock company VACUUMMASH is of great interest in Russia. Characteristics of developed oil free pumps and prospects of products nomenclature extension are presented.*

К современным системам создания вакуума с каждым днем предъявляются все более жесткие требования по чистоте получаемой среды. В некоторых технологических процессах требуется абсолютное отсутствие следов углеводородов присутствующих во многих типах вакуумных насосов. Поэтому все чаще применение находят системы безмасляной «сухой» откачки. Если в условиях высокого и сверхвысокого вакуума готовые надежные решения уже

давно имеются – турбомолекулярные и геттерные вакуумные насосы, то в области низкого и среднего вакуума однозначного лидера нет.

Среди основных претендентов на роль лидера -двухроторные (насосы типа Рутс), спиральные, винтовые, кулачково-зубчатые, мембранные вакуумные насосы. Каждому из этих типов насосов присущи свои достоинства и недостатки, особенности конструкции, определяющие их область применения.

Мембранные насосы [1] имеют малую быстроту действия, до 20 м<sup>3</sup>/ч, низкий вакуум, до 10<sup>3</sup> Па в многоступенчатом исполнении и небольшой ресурс, связанный с износом упругого элемента – резиновой мембраны. Эти недостатки мембранных насосов во многом существенно ограничивают их применение. Поэтому мембранные насосы нельзя считать безмасляной альтернативой вакуумным насосам с масляным уплотнением. Данный тип насоса представлен отечественными фирмами, производящими их на достаточно хорошем, конкурентном иностранном производителям, уровне.

Кулачково-зубчатые насосы [1] – обеспечивают малую степень повышения давления на одной ступени, до 25, поскольку имеют бесконтактное зацепление, поэтому целесообразны системы, состоящие из 3-5 ступеней, либо комбинации нескольких ступеней со ступенью типа Рутс, агрегатированные на единых валах в одном корпусе. Такие конструкции очень сложны и дороги в изготовлении, что в некоторой степени подтверждает отказ фирмы LeyboldGmbH от производства многоступенчатых конструкций этого типа и переход на создание низковакуумных одноступенчатых кулачково-зубчатых насосов, серия Clawvac. Также в связи с особенностями роторного механизма удельная быстрота действия данного типа насосов почти в два раза ниже чем у конкурирующего типа насосов Рутс при соизмеримых массогабаритных показателях.

Спиральные вакуумные насосы находят очень широкое применение в различных технологических процессах с применением вакуума. Максимальная быстрота действия, как правило, не превышает 60 м<sup>3</sup>/час, предельное остаточное давление – до 1 Па. Особенностью этого типа насосов является очень высокие требования к чистоте откачиваемой среды, поскольку в насосе зазор между роторами составляет ~80-140 мкм, при длине профильной сопрягаемой части роторов до 2 м. Данный вид насосов часто используется в качестве форвакуумных в связке с высоковакуумными турбомолекулярными насосами. Этот тип насосов также отличает чрезвычайная сложность изготовления и достаточно высокая удельная цена единицы производительности насоса, связанная с очень высокой точностью изготовления спиральных элементов.

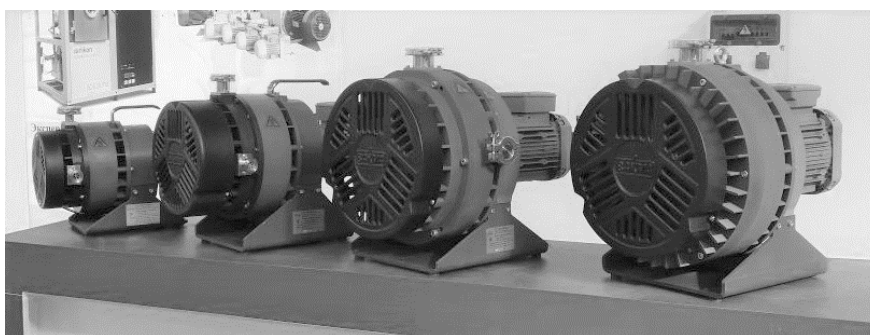
Насосы типа Рутс единственный тип насосов достаточно широко и продолжительное время серийно производимый на территории России. Особенностью данных насосов является бесконтактное вращение роторов с частотой от 3000 об/мин и более. Благодаря этому они обладают очень хорошими удельными характеристиками по скорости действия, однако это, а также отсутствие внутреннего сжатия в насосе, является причиной малой степени повышения давления в насосе (до 50 при работе с форвакуумным насосом и до 1,5 – 2 с выхлопом в атмосферу). Причем в качестве форвакуумного у нас в стране, как правило, использовались насосы с масляным уплотнением, что сводило на нет безмасляность насосов типа Рутс, поскольку появлялся поток паров масла из ФВН. Однако замена ФВН в агрегатах типа Рутс на безмасляные насосы, например, спиральные или винтовые, позволит создать совершенное средство получения среднего вакуума, сочетающее в себе высокую степень повышения давления и прекрасные удельные характеристики по скорости действия с небольшим энергопотреблением.

Также существуют конструкции насосов типа Рутс в многоступенчатом исполнении, до 5 ступеней. Отсутствие внутреннего сжатия в роторном механизме вновь делает такие агрегаты энергетически не очень эффективными. К отмеченным выше недостаткам можно добавить чрезвычайную сложность агрегатирования большого количества ступеней типа Рутс на одних валах, что ведет к высокой стоимости таких агрегатов.

Винтовые вакуумные насосы - лидер среди всех видов безмасляной низко- и средне-вакуумной откачки. Этот тип насосов объединяет в себе все преимущества, присущие в отдельности остальным типам безмасляных насосов: высокая удельная быстрота действия на единицу массы, низкое предельное остаточное давление (до 0,5 Па) благодаря полному

внутреннему сжатию, отсутствие ограничений по скорости действия. Винтовая машина - основной конкурент системам откачки с масляным уплотнением: пластинчато-роторным и золотниковым насосам. Особенности конструкции роторного механизма делает этот тип насосов невосприимчивым к загрязнениям и позволяет его использовать в очень «грязных» промышленных технологических процессах, например, в вакуумной металлургии. Однако сложность изготовления профильной части винтовых роторов делает эти насосы пока достаточно дорогими.

Представленные выше соображения позволяют сделать вывод о целесообразности продолжения разработки и внедрения в качестве безмасляных средств получения вакуума насосов типа Руте, спиральных и винтовых насосов. На АО «Вакууммаш», г. Казань при участии кафедры Вакуумная техника электрофизических установок КНИТУ (КХТИ) в рамках выполнения постановления Правительства Российской Федерации № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» освоено производство типоразмерного ряда спиральных вакуумных насосов НВСП-4, НВСП-12, НВСП-35 (рис. 1) [2].



*Рис. 1. Типоразмерный ряд спиральных вакуумных насосов производства АО «Вакууммаш».*

В дополнение имеющейся линейки насосов типа НВСП разработан и запущен в производство спиральный вакуумный насос с скоростью действия 60 м<sup>3</sup>/час НВСП-60. Данный насос обладает самой большой скоростью действия среди серийно выпускаемых спиральных вакуумных насосов. Основные технические характеристики спиральных вакуумных насосов производства АО «Вакууммаш» представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики спиральных насосов.

| Параметры  | Значение для насосов |            |            |            |
|--|----------------------|------------|------------|------------|
|  | НВСП-4               | НВСП-12    | НВСП-35    | НВСП-60    |
| Геометрическая скорость действия на входе в насос, м <sup>3</sup> /ч (л/с) | 5 (1,5)              | 15 (4,2)   | 43 (12,0)  | 65 (18,0)  |
| Номинальная скорость действия на входе в насос, м <sup>3</sup> /ч (л/с)    | 4,3 (1,2)            | 12,5 (3,5) | 37 (10,2)  | 60 (16,7)  |
| Предельное остаточное давление, не более, Па (мм рт. ст.)                  | 3 (0,023)            | 1 (0,0075) | 1 (0,0075) | 1 (0,0075) |
| Мощность электродвигателя, не более, кВт                                   | 0,97                 | 0,37       | 1,1        | 1,5        |
| Уровень шума при закрытом газобалластном устройстве, не более, кВт         | 57                   | 62         | 63         | 65         |
| Входной патрубок   | NW25                 | NW25       | NW40       | NW40       |
| Выходной патрубок  | NW16                 | NW16       | NW25       | NW40       |
| Синхронная частота вращения  | 1500                 |            |            |            |
| Наличие газобалластного устройства   | да                   |            |            |            |

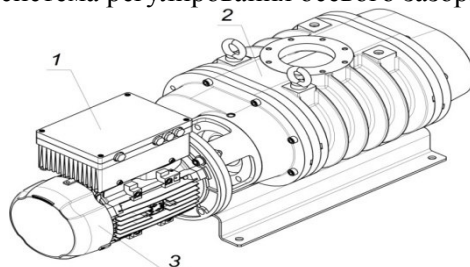
Таким образом, все потребности отечественных потребителей в этом типе безмасляных насосов удовлетворены. Запуск в производство спиральных вакуумных насосов, характеризует очень высокий уровень культуры производства на АО «Вакууммаш», ведь не даром говорят, что наличие производства спиральных машин является косвенным показателем степени развития научно-технического потенциала страны.

АО «Вакууммаш» также выпускает безмасляные насосы типа Рутс, а именно НВД-200 и НВД-600 с быстротой действия 200 и 600 м<sup>3</sup>/час соответственно [3]. Такой номенклатуры явно недостаточно для промышленности. Поэтому на сегодняшний день планируется дополнение этого типоразмерного ряда насосами с быстротой действия 1000, 2000 (рис. 2, 3) и в перспективе 5000 м<sup>3</sup>/час. Разработаны компоновки этих насосов с учетом самых современных мировых тенденций в области вакуумного насосостроения с характеристиками на уровне лучших аналогов. Разработаны рабочие чертежи основных деталей и узлов насосов. Основные характеристики насосов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики двухроторных насосов.

| Наименование параметра   | НВД-1000                                   | НВД-2000           |
|--|--|--------------------|
| Геометрическая быстрота действия, м <sup>3</sup> /ч (л/с)  | 1000/277,8                                 | 2000 / 555,6       |
| Эффективная быстрота действия с форвакуумным насосом, м <sup>3</sup> /ч (л/с):<br>SOGEVAC SV 300 В<br>2НВР-250Д<br>НВВ-630 | 800 / 222,2<br>820 / 227,8                 | -<br>-<br>1800/500 |
| Предельное остаточное давление, Па (мм рт.ст.)   | 1,3·10 <sup>-1</sup> (1·10 <sup>-3</sup> ) |                    |
| Входное соединение   | 100 ISO-K                                  | 250 ISO-K          |
| Выходное соединение  | 100 ISO-K                                  | 100 ISO-K          |
| Частота вращения, об/мин   | 2900                                       | 3000               |
| Рекомендованный форвакуумный насос   | 2НВР-250Д                                  | НВВ-630            |
| Потребляемая мощность, кВт   | 4  | 15                 |
| Допустимая температура окружающей среды, °С  | от +5 до +40                               |                    |
| Объем рабочей жидкости, л  | 3  | 0,8                |
| Охлаждение   | Воздушное                                  | Водяное            |
| Масса, кг  | 220  | 450                |

Отличительной особенностью разработанных насосов является отсутствие перепускного клапана, который имеется на насосах НВД-200 и НВД-600 и служит для предотвращения перегрузки привода насоса при работе на повышенных давлениях на входе. Задачу предотвращения перегрузки насосов новой серии решает частотно-управляемый привод на базе асинхронного электродвигателя. 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. Также в насосах модернизирована система лабиринтных уплотнений между рабочей полостью насоса и масляным картером, снижены потери на трение в опорах качения роторов, и модернизирована система регулирования осевого зазора при сборке.

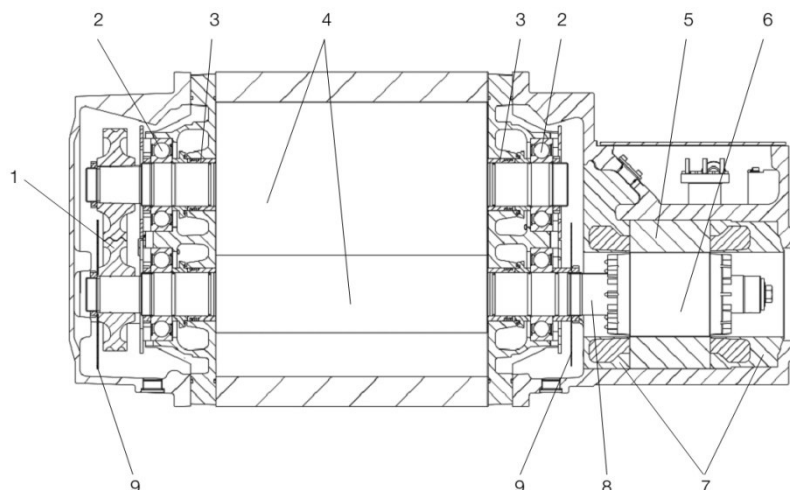


*Рис. 2. Насос вакуумный двухроторный НВД-1000:*

*1 – частотный преобразователь; 2 – роторный механизм; 3 – асинхронный электродвигатель.*

Наличие зазоров в роторном механизме исключает трение и необходимость подачи смазки в промежуточную часть насоса. Синхронность вращения роторов обеспечивается двумя шестернями. Материал корпуса насоса серый чугун, роторов – конструкционная сталь.

Насос НВД-2000 (рис. 3) состоит из собственно насоса и соединенного с ним электродвигателя. Два одинаковых ротора вращаются навстречу друг другу с фиксированным зазором благодаря синхронизирующей передаче и форме профиля ротора.



*Рис. 3. Роторный механизм насоса вакуумного двухроторного НВД-2000:*

*1– синхронизирующие шестерни; 2– подшипники качения; 3– лабиринтное уплотнением;  
4– пара роторов; 5– статор электродвигателя; 6– ротор электродвигателя; 7– эпоксидная  
изоляция; 8– вал ведущего ротора; 9– разбрызгиватель масла.*

После внедрения в производство насосов НВД-1000 и НВД-2000 планируется модернизация серийно выпускаемых насосов НВД-200 и НВД-600.

В связи с потребностью отечественной промышленности в рамках работ по импортозамещению на АО «Вакууммаш» начата разработка самого перспективного и одновременно сложного типа вакуумных «сухих» насосов – винтовых, в частности речь идет о насосе с быстротой действия 630 м<sup>3</sup>/час. Проведены исследовательские и расчетные работы для разработки современного конкурентного безмасляного средства создания вакуума. Разработана компоновка и основные рабочие чертежи винтового насоса серии НВВ (насос вакуумный винтовой). Данный насос планируется использовать как самостоятельное средство откачки в качестве форвакуумного насоса для насосов НВД-1000 и НВД-2000 что позволит полностью избавиться от обратного потока паров масла из агрегатов с насосами типа Рутс.

#### Литература

1. Хаблянян М.Х. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч.2. Вакуумные насосы: учеб. пособие / М.Х. Хаблянян, Г.Л. Саксаганский, А.В. Бурмистров. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. - 300 с.
2. Капустин, Е.Н. Создание высокотехнологичного производства безмасляных спиральных вакуумных насосов в России / Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин, А.В. Бурмистров, С.И.Саликеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2014, Т.17. - № 19 - С. 280 -283.
3. Бурмистров, А. В. Расширение диапазона рабочих давлений насоса типа Рутс/ А.В.Бурмистров, А.А. Райков, С.И. Саликеев, А.В. Тюрин // Материалы XXV научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника» с участием зарубежных специалистов под редакцией С.Б. Нестерова. М.: НОБЕЛЛА. - 2018. – С. 97-100.