

## Опыт создания и перспективы развития отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов

*А. В. Бурмистров, С. И. Саликеев, В. А. Аляев, \*Е. Н. Капустин*  
*Казанский национальный исследовательский технологический университет,*  
*Россия, Республика Татарстан, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68*  
*\* АО Вакууммаш, 420054, г. Казань, ул. Тульская, 58*  
*E-mail: [burm@kstu.ru](mailto:burm@kstu.ru)*

*Рассматриваются основные вопросы, возникшие в ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку безмасляных спиральных вакуумных насосов, которые выполнялись совместно КНИТУ и АО «Вакууммаш» в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года N 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Выделены основные направления, требующие дальнейшей проработки с целью повышения конкурентоспособности отечественных машин.*

*Stages of development of dimension-type line of oil free scroll vacuum pumps in Russia. A.V. Burmistrov, S. I. Salikeev, V. A. Alyaev, E. N. Kapustin. Main questions in the research and development work by designing of oil free scroll vacuum pumps carried out by joint stock company VACUUMMASH and KNRTU are considered. Main directions requiring further development for the purpose of domestic pumps competitiveness are given.*

Высокая конкуренция на мировом рынке средств безмасляной откачки ведет к постоянному поиску новых решений, материалов и комплектующих, применяемых в «сухих» вакуумных насосах. Это в полной мере относится к насосам вакуумным спиральным (НВСП), получившим в последние годы широкое распространение благодаря объективным достоинствам, таким, как безмасляность, бесшумность, низкое энергопотребление, малый подогрев газа на всасывании.

Применительно к безмасляным средствам откачки на данный момент для российского рынка характерна высокая доля импорта, которая в зависимости от вида продукции, колеблется от 70 до 100%. Фактически первые отечественные НВСП появились на рынке только в 2016 году и в настоящее время представлены тремя машинами производства АО «Вакууммаш» с быстротой действия 4, 15 и 35 м<sup>3</sup>/ч [1]. Внешний вид насосов типоразмерного ряда НВСП представлен на рис. 1.

Отметим, что для насосов НВСП-4 и НВСП-12 реализована схема с односторонней подвижной спиралью и консольным закреплением вала. В насосе НВСП-35 в связи с необходимостью обеспечения геометрической быстроты действия более 40 м<sup>3</sup>/ч применен двухсторонний подвижный спиральный элемент с двухопорным закреплением.

Как известно, НВСП относятся к бесконтактным машинам, и важнейшим направлением улучшения их откачных параметров является снижение обратных перетеканий через щелевые каналы.



Рис. 1. Спиральные насосы типоразмерного ряда НВСП.

При орбитальном движении подвижного спирального элемента относительно неподвижного между ними возникает два вида щелевых каналов: радиальный – между профильными поверхностями перьев спиралей и торцевой – между торцом пера одной спирали и торцевым диском ответного спирального элемента. Причем торцевой зазор с точки зрения влияния на характеристики насосов и компрессоров гораздо критичнее, по сравнению с радиальным. По данным теоретических и экспериментальных исследований [2], коэффициент подачи спирального компрессора до 10 раз более чувствителен к изменению торцевых зазоров, чем радиальных. Поэтому очень важно, в первую очередь, снизить перетекания через торцевые каналы. Это достигается путем размещения в канавке, выполненной на торцах перьев спиралей (рис. 2), уплотнителей в виде ленты (рис. 3).

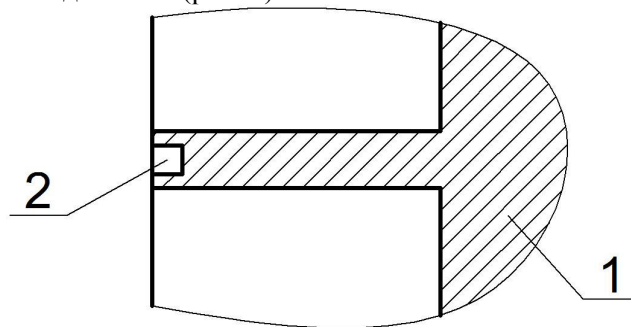


Рис. 2. Спиральный элемент:  
1 – спираль; 2 – канавка под торцевой уплотнитель.

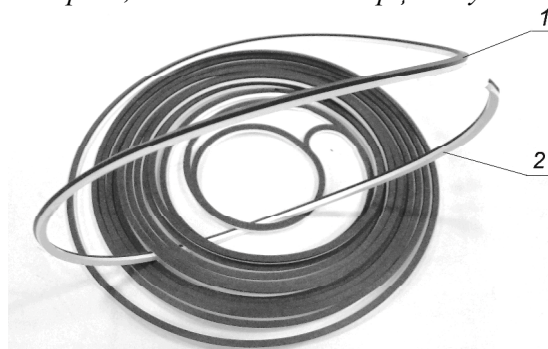


Рис. 3. Двухслойный торцевой уплотнитель насосов ISP «Anest Iwata»:  
1 – графитонаполненный фторопласт; 2 – пружинящий подслоя.

Уплотнитель при орбитальном движении подвижного спирального элемента опирается о поверхность торцевого диска ответного спирального элемента и скользит по нему, осуществляя контактное уплотнение. Таким образом, здесь применяется то же решение, что и для поршневых компрессоров без смазки, где устанавливаются неметаллические уплотнительные кольца, хорошо зарекомендовавшие себя в работе.

Прижатие уплотнителя к торцевому диску достигается или за счет предварительного поджатия торцевого уплотнителя и его расширения при нагреве насоса или за счет упругого подслоя (рис. 3). В НВСП чаще применяется второй способ, то есть торцевой уплотнитель выполняется из двух слоев. Верхний слой 1 (рис. 3), контактирующий с торцевым диском и подверженный износу, делается из неметаллических антифрикционных материалов на основе фторопласта, нижний слой 2 выполняет функцию поджатия уплотнителя и выборки торцевого зазора. Он также неметаллический и обладает высокой упругостью. При износе верхнего слоя уплотнитель подлежит замене. Поэтому время наработки насоса между техническими обслуживаниями определяется ресурсом слоя 1. Данный способ герметизации торцевых зазоров используется во всех НВСП и именно «устранение» перетеканий по торцам спиралей позволяет получить с помощью НВСП степень сжатия около  $10^5$ .

К сожалению, устраняя один недостаток – перетекания, возникает другой. За счет трения торцевого уплотнителя о торцевые диски спиральных элементов в НВСП графитизированный фторопласт превращается в пыль, которая накапливается внутри насоса. Поэтому многие эксплуатационщики называют спиральные насосы «пыльными», а

производители рекомендуют их периодически продувать потоком воздуха через газобалласт или входное отверстие.

Таким образом, одним из направлений развития НВСП является поиск материалов торцевых уплотнителей с минимальным коэффициентом трения, которые при эксплуатации не дают пыли. Отметим, что основу трущегося слоя торцевого уплотнителя зарубежных насосов составляют углерод и фтор. Причем углерода по массе содержится около 40%, а фтора около 50%. Третьей по величине составляющей является сера (около 4%). Совсем в небольшом количестве присутствует кислород.

Отечественной промышленностью в виде листов выпускаются наполненные композиции на основе фторопласта-4 [3]. Спектральный анализ материалов Ф4К20, Ф4К15М5 показал, что по составу они схожи с уплотнительными лентами ведущих производителей НВСП. Основу составляют углерод (около 48%) и фтор (до 53 %). Основное различие состоит в очень малом, по сравнению с зарубежными уплотнителями, содержании серы и большем наличии кислорода. Таким образом, отечественные материалы могут быть рекомендованы для использования в качестве торцевого уплотнителя НВСП. Однако требуется освоение выпуска отечественного двухслойного уплотнителя и в настоящее время такие работы ведутся. Так на рис. 4 представлен первый отечественный двухслойный уплотнитель, который в настоящее время проходит испытания на АО «Вакууммаш».

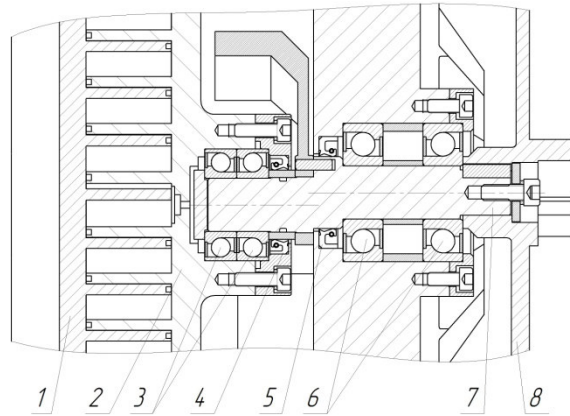
Интенсивность износа уплотнителя также зависит от чистоты поверхности торцевых дисков спиральных элементов. И здесь необходимы усилия по разработке специальных коррозионноустойчивых антифрикционных покрытий спиральных элементов.



*Рис. 4. Двухслойный торцевой уплотнитель отечественного производства.*

Важнейшим элементом любого НВСП являются подшипники. Поскольку НВСП относятся к безмасляным машинам, то подшипники должны работать на консистентной смазке, закладываемой на весь срок эксплуатации насоса. Кроме того, в процессе разработки насосов НВСП-4, НВСП-12, имеющих консольное расположение спирального элемента, посредством математического моделирования рабочего процесса были определены необходимые величины радиальных зазоров между подвижной и неподвижной спиралью. Диапазон этих зазоров для насосов типоразмерного ряда НВСП составил от 80 до 120 мкм. Такие малые величины зазоров и жесткие требования по параллельности торцевых дисков спиральных элементов для снижения торцевых перетеканий потребовали использования радиально-упорных шарикоподшипников парной установки с высоким или прецизионным классом точности, а именно 4 и 5 классов. Такие подшипники используются в основном в шпинделях высокоточных металлорежущих станков.

Для каждого насоса использовалось по паре подшипников двух типоразмеров (рис. 5). Стоимость таких подшипников достаточно высокая - около 5-7 тысяч рублей за штуку и, как правило, они изготавливаются под заказ достаточно большими партиями (от 500-700 шт.). Все это осложняло процесс изготовления опытной партии насосов.



*Рис. 5. Роторный механизм насоса НВСп-12:  
1, 2 – неподвижная и подвижная спирали; 3, 6 – подшипники радиально-упорные;  
4, 5 – манжеты армированные; 7 – вал приводной; 8 – вентилятор.*

Радиально-упорные подшипники для парной установки существуют разных групп зазоров либо натягов, шаг зазоров-натягов составляет всего 4 мкм. Подбор этих групп очень сильно зависит от рабочих температур спиральных элементов и приводного вала, которые на момент проектирования насосов могли быть определены только из математической модели.

Отметим, что в зарубежных аналогах НВСп с консольным расположением подвижного спирального элемента также используются подшипники высокого класса точности, а именно 5-го и выше, что подтверждает обоснованность решения по применению дорогостоящих подшипников высокого класса точности в насосах НВСп-4 и НВСп-12.

В перспективе для снижения цены насосов планируется переход от подшипников для парной установки к универсальным радиально-упорным шарикоподшипникам, которые значительно ниже по цене. Данные подшипники требуют использования регулируемых дистанционных колец между внутренними и внешними втулками подшипников. Опытные работы по такой замене уже ведутся и есть предварительный положительный результат.

Для насосов с двухсторонним подвижным спиральным элементом с симметричной двухопорной схемой расположения опорных подшипников приводного вала (насос НВСп-35) нет особых требований по точности подшипников, поэтому были использованы подшипники 6-го класса точности.

Еще один важнейший элемент НВСп – манжетные уплотнители, которые предотвращают попадание паров смазки из подшипниковых узлов в рабочий объем насоса и осуществляют герметизацию ввода вращения. Эти уплотнители должны выдерживать перепад в 1 атм и иметь минимальный габарит как в радиальном, так и осевом направлении, а также минимальное тепловыделение при работе на номинальной частоте. Отечественной промышленностью выпускаются армированные манжеты на перепад только в 0,5 атм, а при больших перепадах рекомендуется использовать дополнительное упорное металлическое профильное кольцо. Такая конструкция увеличивает габарит в осевом направлении. Поэтому пришлось обратиться к иностранным производителям, в частности к фирмам Simrit и Trelleborg. В результате подобраны удовлетворяющие требованиям армированные манжеты из фторкаучуковой резины, которые использованы при проектировании НВСп.

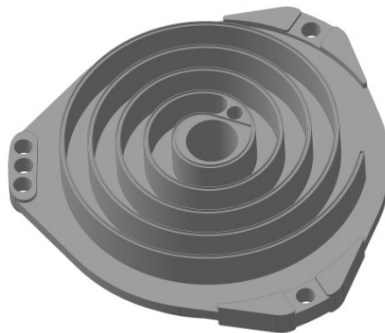
В завершение обсуждения основных вопросов следует остановиться на электродвигателях НВСп. Быстрота действия любого насоса прямо пропорциональна частоте вращения вала электродвигателя. Частота вращения зарубежных аналогов НВСп находится в диапазоне от 1440 до 1870 об/мин. В них используются серийные электродвигатели, как трехфазные, так и однофазные, есть варианты машин с частотным преобразователем. В некоторых насосах использованы специально разработанные для конкретного насоса электродвигатели.

Для обеспечения хороших удельных характеристик разрабатываемых насосов необходимо использовать электродвигатели с высокой синхронной частотой вращения. Отечественные электродвигатели, как правило, имеют достаточно низкую синхронную частоту

вращения, например АИР71В4 при асинхронной частоте вращения 1500 об/мин имеет синхронную (действительную) 1350 об/мин. Это соответствует потерям быстроты действия почти на 10 %. Поэтому при проектировании были заложены электродвигатели фирмы SEW Eurodrive с четвертым классом энергоэффективности и соответственно с меньшими пусковыми токами и меньшими потерями частоты вращения (синхронная частота составляет ~ 1500 об/мин). Единственным недостатком этих электродвигателей является их цена, которая в три раза выше, чем у отечественных электродвигателей.

Отметим, что в настоящее время по требованиям заказчиков были разработаны насосы с однофазными электродвигателями. Также ведутся работы по улучшению эргономики НВСП, а именно улучшению внешнего вида, доработке строповочных элементов, установке счетчиков моточасов и т.д.

Анализ номенклатуры выпускаемых зарубежных насосов показывает, что в типоразмерах насосов ведущих производителей присутствуют «большие» машины с быстротой действия 60 м<sup>3</sup>/ч. В частности, такие насосы предлагают фирмы «Anest Iwata» [4] – ISP1000, «Oerlikon Leybold» [5] – Scrollvac SC60D, Shenyang Geowell Applied Technology [6] – GWSP1000. Очевидно, что линейка отечественных насосов также должна содержать машину с быстротой действия около 60 м<sup>3</sup>/ч. Поэтому в настоящее время ведутся работы по проектированию насоса НВСП-60. В данном насосе будет реализована схема с двухсторонним подвижным спиральным элементом (рис. 6).



*Рис. 6. Подвижный спиральный элемент разрабатываемого НВСП-60.*

Таким образом, уже в текущем году линейка НВСП АО «Вакууммаш» может быть расширена.

#### Литература

1. Капустин, Е.Н. Этапы разработки типоразмерного ряда отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов / Е.Н. Капустин, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев // Вакуумная техника и технология. – 2015. – Т. 25, № 2. – С. 176-180.
2. Ибрагимов Е.Р. Повышение эффективности спирального компрессора сухого сжатия / Е. Р. Ибрагимов - Дисс. канд. тех. наук, Казань, – 2009.
3. Физико-механические свойства фторопласта-4 [Электронный ресурс] / ЗАО "Фторопластовые технологии", 2016. – Режим доступа: <http://www.ftoroplast.com.ru/reference/svoistva>, свободный.
4. ISP Dry Scroll Vacuum Pump [Электронный ресурс] / Anest Iwata, 2016. – Режим доступа: <http://anestiwata.com/product-category/isp-dry-scroll-vacuum-pump/>, свободный.
5. SCROLLVAC Scroll Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / Oerlikon Leybold Vacuum, 2016. – Режим доступа: [https://leyboldproducts.oerlikon.com/us/us/produktkatalog\\_03.aspx?cid=20\\_30\\_0](https://leyboldproducts.oerlikon.com/us/us/produktkatalog_03.aspx?cid=20_30_0), свободный.
6. GWSP Oilfree Scroll Vacuum Pump [Электронный ресурс] / Shenyang Geowell Applied Technology Co.,Ltd. China, 2014. – Режим доступа: <http://www.geowell.com.cn/en/product.asp?id=9>, свободный.