

А. В. Бурмистров, Е. Н. Капустин, Р. Р. Зиганшин

## СОЗДАНИЕ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА БЕЗМАСЛЯНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

*Ключевые слова:* вакуумный насос, безмасляный вакуум, насос «сухого» сжатия, откачные характеристики.

*Безмасляные вакуумные насосы находят все более широкое применение в индустрии наносистем и наноматериалов. В России спиральные вакуумные насосы в данный момент не производятся. Рассматриваются характеристики спиральных насосов, выпускаемых ведущими мировыми производителями вакуумной техники. Представлены ожидаемые характеристики планируемых к производству отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов.*

*Keywords:* vacuum pump, oil-free vacuum, average vacuum, pump "dry" compression, the pumping characteristics.

*Oil-free vacuum pumps find growing application in nano-industry. Scroll vacuum pumps are not produced in Russia at present. Characteristics of scroll pumps produced by industry-leading manufacturers are considered. Characteristics of oil-free scroll vacuum pumps which are planned to be produced in Russia are presented.*

Вакуум как технологическая среда абсолютно незаменима в индустрии наносистем и материалов. Подавляющее большинство нанотехнологических процессов протекают в условиях вакуума. Причем обеспечить качество высокотехнологичной продукции, особенно на наноуровне возможно лишь в условиях обеспечения безмасляной среды. Чаще всего для этих целей используются кулачково-зубчатые и двухроторные вакуумные насосы или их комбинации [1, 2], винтовые, спиральные вакуумные насосы.

В настоящее время потребность в «сухих» средствах средневакуумной откачки почти полностью покрывается импортным откачным оборудованием. Создание производства спиральных вакуумных насосов (НВСп) в России позволит отказаться или резко сократить импорт откачного оборудования и создаст предпосылки для освоения выпуска других видов вакуумных насосов и агрегатов. Меньшая по сравнению с импортными аналогами цена НВСп позволит снизить затраты потребителей вакуумной техники. Освоение выпуска НВСп существенно повысит престиж России на рынке высокотехнологичного вакуумного оборудования и смежных отраслей.

НВСп – самый новый тип безмасляных вакуумных насосов объемного принципа сжатия. Несмотря на то, что сама идея сжатия в спиральных элементах относится к началу XX века, реальное воплощение в коммерческие машины сдерживалось отсутствием экономически выгодного способа изготовления рабочих органов – спиралей. Существовавшие почти до конца XX века технологии не могли обеспечить высокие требования по точности и производительности изготовления спиралей. Поэтому долгие годы развитие спиральных машин шло в направлении теоретических исследований по оптимизации конструкции, уплотнений, подшипниковых узлов, технологичности производства. Только после создания высокопроизводительных и высокоточных станков, обеспечивших эффективность производства спиралей, идея спирального механизма была реализована в коммерческих вакуумных насосах и компрессорах.

В середине 80-х годов прошлого века японская фирма «Hitachi», американские фирмы «CopelandCorp» и «Trane» организовали выпуск спиральных компрессоров для систем кондиционирования. В конце 80-х

годов фирма «Volkswagen» создала воздушный спиральный компрессор сухого сжатия для наддува автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Постепенно расширялась и область применения спиральных компрессоров. Они стали использоваться в холодильной промышленности, для подачи воздуха без паров масла в установках, для работы в составе криогенных установок, для сжатия технологических газов.

Только в 90-х годах XX века японская компания Anest Iwata [3], специализирующаяся на разработке и производстве ротационного оборудования, начала выпуск первых в мире безмасляных спиральных вакуумных насосов. С тех пор НВСп находят все более широкое применение для решения самых разнообразных задач, включая системы напыления, системы для нанесения оптических покрытий, гелиевые течеискатели, ионную обработку, электронно-лучевые процессы, вакуумные печи, лабораторные исследования и многое другое. В мире НВСп прочно заняли нишу в области средств безмасляной откачки малой и средней производительности (от 4 м<sup>3</sup>/ч до 50 м<sup>3</sup>/ч). Вместе с тем, известны и НВСп с быстротой действия до 60 м<sup>3</sup>/ч [3].

В СССР с конца 80-х годов XX века вопросами создания спиральных компрессоров занимался «ВНИИХолодмаш» (г. Москва), где были созданы и испытаны несколько опытных образцов холодильных спиральных компрессоров. Примерно в то же время в Санкт-Петербурге под руководством И. А. Сакуна проводились теоретические исследования геометрии и рабочих процессов спирального компрессора. В начале 90-х годов XX века к работам по созданию отечественного спирального компрессора подключилось ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» (г. Казань). Были созданы программы для расчета геометрических параметров спиралей, сил и моментов, действующих на спирали. Изготовлены экспериментальные образцы, подтвердившие высокие энергетические показатели. Были проведены научно – исследовательские работы, освоены новые технологии. Для серийного производства компрессоров у фирмы «EX-CELL-O» (Германия) было закуплено специализированное высокоточное и высокопроизводительное оборудо-

вание – станки типа XHS. Выпускались мелкие серии спиральных масляных и «сухих» компрессоров.

Спиральные вакуумные насосы в России не производились и не производятся. Публикации по теме разработки и исследования НВСП в отечественной научной периодической литературе практически отсутствуют.

В настоящее время ряд ведущих мировых производителей вакуумной техники выпускают спиральные вакуумные насосы.

Технические характеристики выпускаемых ведущими мировыми производителями спиральных вакуумных насосов приведены в таблице 1 [3-7].

В результате реализации данного проекта должен быть создан типоразмерный ряд вакуумных спиральных насосов (НВСП) в составе:

- насос вакуумный спиральный НВСП-4;
- насос вакуумный спиральный НВСП-12;
- насос вакуумный спиральный НВСП-35 и организовано высокотехнологичное серийное производство безмаслянных спиральных вакуумных насосов.

Данный ряд насосов способен обеспечить потребности всех видов вакуумного технологического оборудования, в которых необходим «чистый» вакуум.

Очень важно, что разрабатываемые НВСП будут также использоваться в качестве форвакуумных насосов в агрегатах с двухроторными вакуумными насосами типа Рутс, в том числе, выпускаемых ОАО «Вакууммаш» агрегатах АВД-50/5, АВД-50/16, АВД-150/25. Известно, что за счет наличия в роторном механизме ДВН гарантированных зазоров, в их в рабочем объеме отсутствует масло. Однако в настоящее время в качестве форвакуумных насосов для ДВН используются насосы с масляным уплотнением (ВНМУ) типа НВР или НВЗ. В процессе эксплуатации пары масла из ВНМУ попадают в откачиваемый объем и все преимущества ДВН в плане получения «чистого» вакуума теряются. Агрегатирование ДВН спиральными безмасляными насосами позволит реализовать все преимущества подобных агрегатов, сделав их по настоящему безмасляными.

Основными техническими характеристиками разрабатываемых НВСП представлены в таблице 2.

Разрабатываемые НВСП (табл. 2) должны обладать откачными и энергетическими удельными характеристиками на уровне лучших мировых аналогов: быстрота действия на единицу массы насоса должна составить величину не менее 0,4 (м<sup>3</sup>/ч)/кг. Предельное остаточное давление не более 5 Па. Удельное энергопотребление не более 36 Вт/( м<sup>3</sup>/ч).

В процессе реализации проекта планируется снизить стоимость разрабатываемых насосов по сравнению с зарубежными аналогами благодаря замещению дорогостоящих комплектующих иностранного производства на отечественные, упрощению конструкции насоса и выбору оптимальных соотношений основных размеров роторного механизма (включая использование запатентованного профиля спирали), что позволит снизить металлоемкость разрабатываемых НВСП, и улучшить их удельные характеристики.

**Таблица 1 - Технические характеристики НВСП**

| Фирма<br>изго-<br>тови-<br>тель           | Мар-<br>ка<br>на-<br>соса | Геомет-<br>риче-<br>ская<br>быстро-<br>та<br>дейст-<br>вия,<br>м <sup>3</sup> /ч | Номи-<br>наль-<br>ная<br>быстро-<br>та<br>дейст-<br>вия,<br>м <sup>3</sup> /ч | Пре-<br>дель-<br>ное<br>оста-<br>точ-<br>ное<br>давле-<br>ние,<br>Па | Мош-<br>ность<br>элек-<br>тродви-<br>гателя,<br>Вт | Уро-<br>вень<br>шума,<br>дБ | Габа-<br>ритные<br>размеры<br>(длина х<br>ширина<br>х высо-<br>та), мм | Ма-<br>сса<br>кг |
|-------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Oerlik<br>on<br>Leybol<br>d<br>Vacuu<br>m | SC-<br>5D                 | 5,4                                                                              | 4,8                                                                           | 5                                                                    | 150                                                | 52                          | 308x180<br>x225                                                        | 14               |
|                                           | SC-<br>15D                | 15                                                                               | 13                                                                            | 1,6                                                                  | 400                                                | 58                          | 400x180<br>x336                                                        | 25               |
|                                           | SC-<br>30D                | 30                                                                               | 26                                                                            | 1                                                                    | 600                                                | 62                          | 443x<br>328x372                                                        | 38               |
|                                           | SC-<br>60D                | 60                                                                               | 52                                                                            | 1                                                                    | 1400                                               | 67                          | 467x390<br>x421                                                        | 60               |
| Ed-<br>wards                              | XD<br>S-5                 | 5,7                                                                              | 4,8                                                                           | 7                                                                    | 300                                                | 55                          | 427x249<br>x288                                                        | 23               |
|                                           | XD<br>S-10                | 11,3                                                                             | 9,3                                                                           | 7                                                                    | 300                                                | 55                          | 437x249<br>x288                                                        | 24,<br>5         |
|                                           | XD<br>S-46i               | 60                                                                               | 40                                                                            | 5                                                                    | 520                                                | 55,4                        | 476x333<br>x397                                                        | 48               |
| Busch                                     | FO<br>000<br>9B           | -                                                                                | 9                                                                             | 7,5                                                                  | 200                                                | 57                          | 400x279<br>x302                                                        | 25               |
|                                           | FO<br>001<br>8B           | -                                                                                | 18                                                                            | 2,5                                                                  | 370                                                | 59                          | 414x314<br>x337                                                        | 32               |
|                                           | FO<br>003<br>0B           | -                                                                                | 30                                                                            | 1                                                                    | 600                                                | 60                          | 405x354<br>x411                                                        | 38               |
| Anest<br>Iwata                            | ISP-<br>90                | 5,4                                                                              | 4,3                                                                           | 5                                                                    | 150                                                | 52                          | 308x214<br>x225                                                        | 14               |
|                                           | ISP-<br>250<br>C          | 15                                                                               | 12                                                                            | 1,6                                                                  | 400                                                | 58                          | 370x252<br>x336                                                        | 23               |
|                                           | ISP-<br>500               | 30                                                                               | 25                                                                            | 1                                                                    | 600                                                | 60                          | 372x328<br>x397                                                        | 38               |
|                                           | ISP-<br>100<br>0          | 60                                                                               | 49                                                                            | 1                                                                    | 1400                                               | 67                          | 467x390<br>x421                                                        | 60               |
| Varian<br>Vacuu<br>mTech<br>nolog<br>ies  | SH-<br>110                | -                                                                                | 5,4                                                                           | 6,6                                                                  | 190                                                | 56                          | 383x239<br>x257                                                        | 20               |
|                                           | Tri-<br>Scro<br>II<br>300 | -                                                                                | 12,6                                                                          | 1,3                                                                  | 560                                                | 68                          | 437x<br>274x340                                                        | 34,<br>2         |
|                                           | Tri-<br>Scro<br>II<br>600 | -                                                                                | 25,2                                                                          | 1                                                                    | 760                                                | 68                          | 428x300<br>x356                                                        | 40               |

**Таблица 2 - Технические характеристики разрабатываемых НВСП**

| Параметры                                                         | Значение для насосов |            |            |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|
|                                                                   | НВСП-4               | НВСП-12    | НВСП-35    |
| Геометрическая быстрота действия, мЗ/ч (л/с), *                   | 5 (1,5)              | 15 (4,2)   | 43 (12,0)  |
| Номинальная быстрота действия, мЗ/ч (л/с), *                      | 4, 3 (1,2)           | 11,9 (3,3) | 34,2 (9,5) |
| Предельное остаточное давление, не более, Па (мм рт.ст.)          | 5 (0,038)            | 5 (0,038)  | 5 (0,038)  |
| Мощность электродвигателя, не более, кВт                          | 0,18                 | 0,37       | 1,1        |
| Уровень шума при закрытом газобалластном устройстве, не более, дБ | 52                   | 60         | 60         |
| Входной патрубок                                                  | NW25                 | NW25       | NW40       |
| Выходной патрубок                                                 | NW16                 | NW16       | NW25       |
| Синхронная частота вращения, об/мин                               | 1500                 | 1500       | 1500       |
| Наличие газобалластного устройства                                | да                   | да         | да         |
| * - отклонение значений параметров $\pm 10 \%$                    |                      |            |            |

Предприятие на протяжении последних лет постоянно и успешно занималось совершенствованием конструкций всех видов выпускаемых насосов, а так же принимало активное участие в продвижении новых научных разработок вакуумных насосов. Прошли стадию изготовления насосы шестерёнчатые, кулачкового типа и др. Технологический потенциал предприятия

постоянно совершенствуется, приобретаются современные обрабатывающие центры и производство способно освоить изготовление спиральных насосов.

## Литература

1. Райков А. А. Экспериментально- теоретическое исследование индикаторных диаграмм кулачково-зубчатого вакуумного насоса / А.А. Райков, С.И. Саликеев, А.В. Бурмистров // Вестник Казанского технологического университета – 2011 – № 15. – С. 210-214.
2. Райков А. А., Саликеев С. И., Бурмистров А. В. Экспериментальное исследование безмасляного двухступенчатого комбинированного вакуумного насоса // Вестник Казанского технологического университета – 2010 - № 7. - С.190-192.
3. Dry Scroll Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / Anest Iwata. – USA.: Anest Iwata, 2013. – Режим доступа: <http://anestiwata.com/product-category/vacuum-pumps/>, свободный.
4. Agilent. Primary Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / Agilent Technologies. – USA.: Agilent Technologies, 2013. – Режим доступа: <http://www.chem.agilent.com/en-US/Products-Services/ Instruments-Systems/Vacuum-Technologies/ Primary-Vacuum-Pumps/Pages/ default.aspx>, свободный.
5. SCROLLVAC Scroll Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / Oerlikon Corporate Switzerland. – Switzerland.: Oerlikon Corporate Switzerland, 2013.- Режим доступа: [https://leyboldproducts.oerlikon.com/products/produktkatalog\\_03.aspx?cid=20\\_3](https://leyboldproducts.oerlikon.com/products/produktkatalog_03.aspx?cid=20_3), свободный.
6. Edwards nXDS – the great new shape of dry vacuum pumping [Электронный ресурс] / Edwards Ltd. – United Kingdom.: Edwards Ltd, 2013. – режим доступа: [http://www.edwardsvacuum.com/nxds/en/index.html?cmpid=HomepageLink\\_nXDS0412](http://www.edwardsvacuum.com/nxds/en/index.html?cmpid=HomepageLink_nXDS0412), свободный.
7. Busch:Info.Fossa – Spiral vacuum pump [Электронный ресурс] / Busch GmbH. –Germany.:Busch GmbH, 2013. – Режим доступа: <http://www.busch.de/en/products/product-portfolio/fossa/info/>, свободный.

© А. В. Бурмистров - д.т.н., проф. каф. вакуумной техники электрофизических установок КНИТУ, burm@kstu.ru; Е. Н. Капустин - ген. директор ОАО «Вакууммаш», kazan@vacma.ru; Р. Р. Зиганшин - зам. дир. инжинирингового центра ОАО «Вакууммаш», ziganshin@vacma.ru.