

СЕКЦИЯ 1 ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Разработка «большого» отечественного безмасляного спирального вакуумного насоса с быстротой действия 60 м³/ч

*А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, А.В. Тюрин, А.А. Райков, *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

Рассматриваются основные вопросы, возникшие в ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку безмасляных спиральных вакуумных насосов. Выделены основные направления, требующие дальнейшей проработки с целью повышения конкурентоспособности отечественных машин.

Development of domestic “big” oil free scroll vacuum pump with the pumping speed 60m³/hour. A. V. Burmistrov, S. I. Salikeev, A. V. Tyurin, A.A. Raykov, E. N.Kapustin. Main issues of research and development work by design of oil free scroll vacuum pumps are considered. Main directions are outlined requiring further advancement of domestic pumps competitiveness.

В последние годы безмасляные насосы вакуумные спиральные (НВСП) все чаще находят применение для откачки не только аналитического оборудования, но и достаточно больших объемов, например, в установках имитации космического пространства. Появились варианты использования НВСП вместо вакуумных насосов с масляным уплотнением в агрегатах с насосами Рутса [1]. В данных приложениях значительный интерес представляют НВСП с быстротой действия более 50 м³/ч. Таких машин в мире совсем немного, фактически только два насоса дотягивают до геометрической быстроты действия 60 м³/ч - насос ISP-1000 (SD-60) фирмы «Anest Iwata» [2] и насос GWSP-1000 фирмы «Geowell Vacuum»[3]. В России на данный момент самый большой НВСП, выпускаемый АО «Вакууммаш», имеет теоретическую быстроту действия 43 м³/ч [4]. Поэтому работа, связанная с созданием большей безмасляной спиральной машины, актуальна.

Как известно, геометрическая быстрота действия НВСП определяется частотой орбитального вращения подвижной спирали и величиной объемов парных полостей всасывания, которые в свою очередь зависят от высоты пера спирали и диаметра. Добиться геометрической быстроты действия 60 м³/ч при паспортной частоте вращения 1500 об/мин и приемлемых диаметральных размерах насоса фактически можно только при использовании конструктивной схемы с двухсторонним подвижным спиральным элементом. В этом случае рабочие камеры, расположенные по обе стороны торцевого диска, работают параллельно, и быстрота действия насоса удваивается. В противном случае (у насоса с односторонним подвижным спиральным элементом) высота спирали должна быть более 70 мм. Это практически невозможно с точки зрения технологичности изготовления спиралей. Принимая во внимание опыт изготовления и эксплуатации НВСП, было принято решение выбрать для НВСП-60 схему с двухсторонним подвижным спиральным элементом, а высоту пера спирали с одной стороны торцевого диска – 36 мм.

Второй важнейший параметр насоса, связанный с геометрией спирали - предельное остаточное давление. Результаты расчета характеристик НВСП с помощью математической модели [5, 6] показали, что для обеспечения предельного остаточного давления порядка 1 Па необходимо, чтобы количество витков подвижной спирали (без учета концевой участка) было около пяти.

С учетом сказанного был спроектирован спиральный механизм. Внешний вид подвижного спирального элемента представлен на рис. 1.

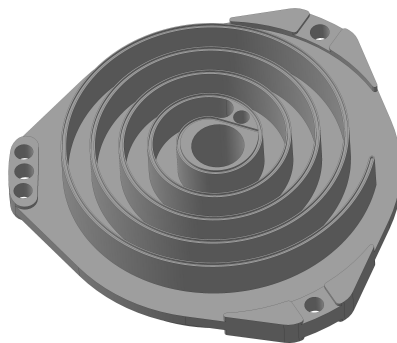


Рис. 1. Подвижный спиральный элемент разрабатываемого НВСП-60.

Величина радиального зазора между спиральями оказывает определяющее влияние на откачные характеристики НВСП. Причем получить предельное остаточное давление уровня 1 Па можно при величине радиального зазора порядка 100-150 мкм. Минимальный гарантированный зазор назначается исходя из бесконтактного движения подвижного спирального элемента относительно неподвижного в любых штатных условиях работы насоса [7]. Для этого необходимо учитывать изменение зазора, как за счет нагрева насоса, так и за счет давления на поверхности спиральных элементов, оказываемого газом, сжимаемым в серповидных полостях. В работах [8] показано, что силовые деформации спиральных элементов в условиях работы спиральной машины в качестве вакуумного насоса незначительны ввиду малых нагрузок от газовых сил. А вот тепловые деформации, с учетом того, что спиральные элементы изготавливаются из алюминиевых сплавов, имеющих большой коэффициент теплового расширения, вносят определяющий вклад в изменение зазоров.

Температурные поля подвижного и неподвижного спирального элементов находились с помощью методики, представленной в работах [9, 10]. Проведенные расчеты показали, что максимальные температуры подвижной спирали 71°C и неподвижной 58°C достигаются при предельном остаточном давлении.

Напряжения и деформации в спиральных элементах НВСП находились с помощью метода конечных элементов согласно методике, представленной в работе [11]. При расчете деформаций используется та же сетка, что и при расчете температурных полей. Радиальные тепловые деформации в НВСП-60, рассчитанные в середине высоты спиралей, показаны на рис. 2.

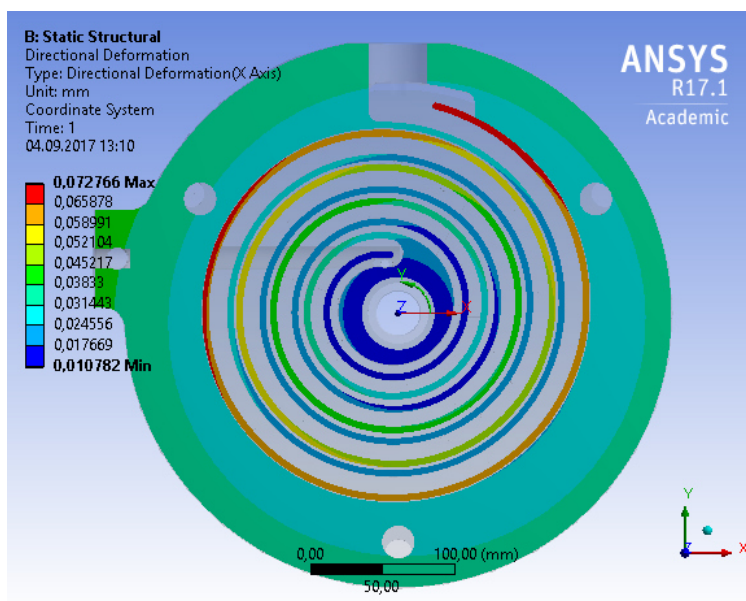


Рис. 2. Радиальные тепловые деформации в НВСП-60 при давлении на входе 10 Па.

На основании представленных на рис. 2 данных построены графики радиальных тепловых деформаций спиральных элементов и изменения радиального зазора НВСП-60 по углу закрутки пера спирали, которые нанесены на рис. 3.

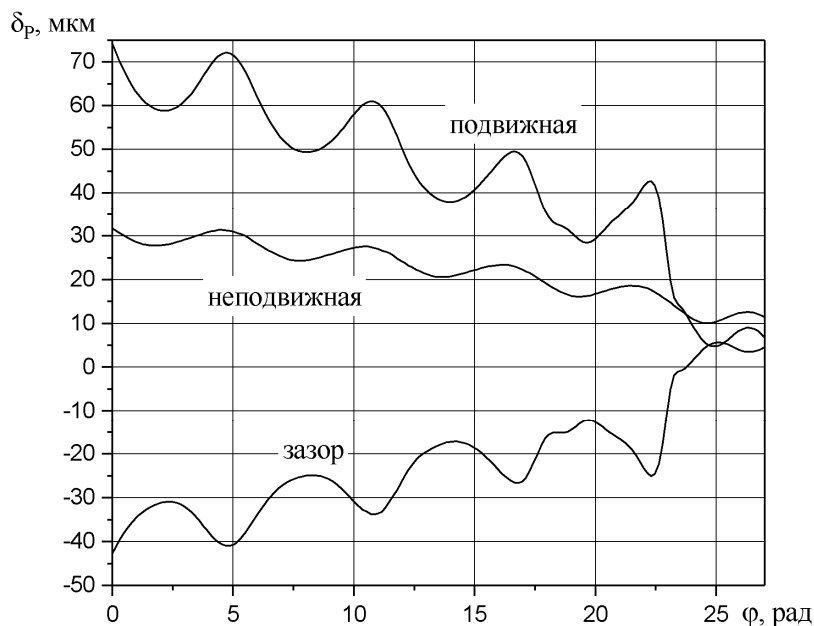


Рис. 3. Тепловые радиальные деформации спиралей и изменение радиального зазора НВСП-60 при $P_{ВХ} = 10$ Па.

Таким образом, максимальная тепловая радиальная деформация подвижной спирали составила 72 мкм. Максимальная тепловая радиальная деформация неподвижной спирали составляет 31 мкм. Максимальное изменение радиального зазора от тепловых деформаций спиралей 41 мкм.

С использованием математической модели процесса откачки НВСП проведен расчет зависимости быстроты действия НВСП-60 при различных радиальных зазорах, которые представлены на рис. 4. Можно видеть, что заданное предельное остаточное давление 1 Па достигается при зазорах 0,15-0,17 мм. На основании сказанного для НВСП-60 назначен радиальный зазор 0,15 мм.

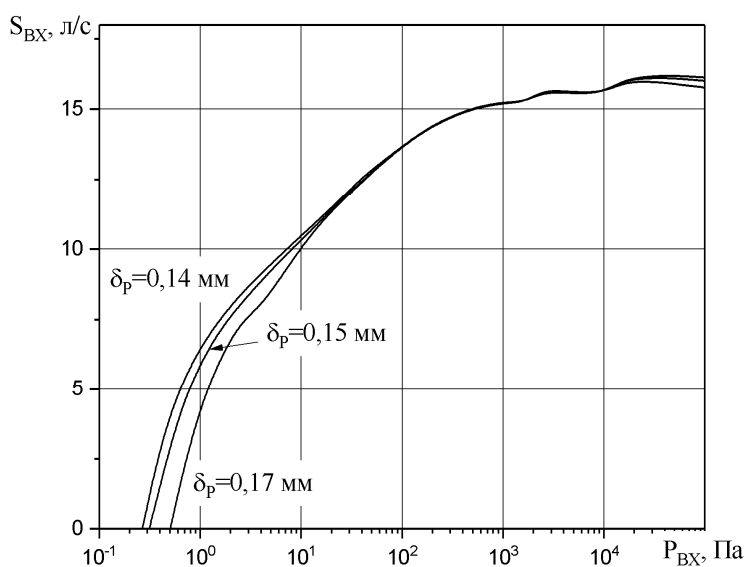


Рис. 4. Быстрота действия НВСП-60 при частоте орбитального вращения 1500 об/мин.

На основе расчетов спроектированы спиральные элементы насоса НВСП-60. В настоящее время проводятся предварительные испытания НВСП-60 и, таким образом, уже в текущем году линейка НВСП АО «Вакууммаш» может быть расширена.

Литература

1. 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.
2. ISP Dry Scroll Vacuum Pump [Электронный ресурс] / Anest Iwata, 2016. – Режим доступа: <http://anestiwata.com/product-category/isp-dry-scroll-vacuum-pump/>, свободный.
3. Geowell VacumCo. Ltd. – Режим доступа: <http://www.geowell.com.cn/en/product.asp> - свободный.
4. 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.
5. Бурмистров А. В. Расчет быстроты действия безмасляных спиральных вакуумных насосов / А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, А.А. Райков, В.А. Аляев, Р.Р. Якупов // Материалы XXIV научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника» с участием зарубежных специалистов под редакцией С.Б. Нестерова. М.: НОВЕЛЛА. - 2017. – С. 152-157.
6. Burmistrov, A. Mathematical model of working process of oil free scroll vacuum pump : Influence of leakage and heat transfer on pumping characteristics / Burmistrov A., S. Salikeev, Raykov A., M. Fomina // *Vakuum in Forschung und Praxis*. - 2017. - Vol. 29. - Is. 6. – P. 28-31.
7. Ю.А. Паранин. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Казанский национальный технологический ун-т, Казань, 2011. 18 с.
8. Райков, А.А. Силовые деформации рабочих элементов безмасляного спирального вакуумного насоса / А.А. Райков, Р. Р. Якупов, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2015, №1 (658) – С.57-63.
9. Якупов, Р.Р. Расчёт процесса теплообмена в математической модели спирального вакуумного насоса / Р.Р. Якупов, А.А. Райков, С.И. Саликеев, А.В. Бурмистров // Компрессорная техника и пневматика. – 2017, – № 4. - С. 39-42.
10. Бурмистров, А.В. Численное моделирование тепловых полей рабочих элементов спиральных вакуумных насосов / А.В. Бурмистров, Р.З. Даутов, М.М. Карчевский, Р.Р. Якупов // Материалы 10-й Международной конференции «Сеточные методы для краевых задач и приложения». Казань: Казанский университет, 2014. – С. 156-161.
11. Райков, А.А. Тепловые деформации рабочих элементов безмасляного спирального вакуумного насоса с двухсторонней подвижной спиралью / А.А. Райков, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев // Компрессорная техника и пневматика. - 2015, – № 2. - С. 6-9.