

Технология и технологические машины

УДК 621.521

DOI 10.18698/0536-1044-2016-9-26-30

Экспериментальное исследование откачных характеристик первого отечественного безмасляного агрегата на базе двухроторного и спирального вакуумных насосов

А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев

Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Казань,
Российская Федерация, К. Маркса ул., 68

The Experimental Study of Pumping Characteristics of the First Domestic Oil Free System Combining Roots and Scroll Vacuum Pumps

A.V. Burmistrov, S.I. Salikeev

Kazan National Research Technological University, 420015, Kazan, Russian Federation, Karl Marx St., Bldg. 68



e-mail: burm@kstu.ru, salikeev_s@mail.ru



Ужесточение требований к чистоте вакуума при проведении ряда технологических процессов делает актуальной задачу разработки новых и совершенствования существующих средств получения безмасляного вакуума. В качестве форвакуумных насосов, или насосов предварительного разрежения, широко применяют «сухие» спиральные насосы, обеспечивающие остаточное давление порядка 1 Па. Однако спиральные насосы имеют существенное ограничение по скорости действия — не более 16 л/с. Благодаря тому что АО «Вакууммаш» в 2016 г. приступило к серийному производству трех безмасляных спиральных насосов различной производительности, появилась возможность создания отечественных безмасляных агрегатов на базе двухроторных вакуумных насосов типа Рутс и спиральных машин. Проведено экспериментальное исследование агрегата, состоящего из двух насосов — двухроторного НВД-200 и спирального НВСП-12. Получены зависимости степени повышения давления насоса НВД-200 от давления на его выходе, а также зависимости скорости действия от давления на его входе. Проведенные исследования позволяют рекомендовать «сухие» агрегаты на базе спиральных и двухроторных насосов к применению в отраслях промышленного производства, требующих безмасляного вакуума.

Ключевые слова: безмасляный вакуум, спиральный насос, двухроторный насос, скорость действия, стенд исследовательских испытаний, откачные характеристики.



Tight requirements to the cleanness of vacuum in various technological processes necessitates the development of new pumps, and improvement of existing pumps for creating oil free vacuum conditions. Dry scroll pumps with ultimate pressure of 1 Pa are

used as fore-pumps or roughing pumps. But scroll pumps have a significant limitation in pumping speed — no more than 16 l/s. The start of serial production of three oil free scroll pumps of various pumping speeds by AO Vacuummash in 2016 has created an opportunity to develop domestic oil free vacuum systems combining Roots and scroll vacuum pumps. An experimental study of a system consisting of two pumps, namely Roots NVD-200 and scroll NVSp-12 pumps, was carried out. The dependencies between the pressure ratio of the NVD-200 pump and the outlet pressure, as well as the pumping speed and the outlet pressure are obtained. The results obtained support the recommended use of dry vacuum systems based on scroll and Roots pumps in industries where oil free vacuum is required.

Keywords: oil free vacuum, scroll pump, Roots pump, pumping speed, investigation test stand, pumping characteristics.

Инновационное развитие России невозможно без совершенствования вакуумных технологий и техники, в частности средств получения безмасляного вакуума, незагрязненного парами рабочей жидкости насоса. Это связано с ужесточением требований к чистоте вакуума при проведении технологических процессов в таких областях науки и техники, как микроэлектроника, фармацевтика, медицина, нанотехнологии и др. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих средств получения безмасляного вакуума является актуальной задачей.

В настоящее время для получения высокого и сверхвысокого безмасляного вакуума успешно применяют турбомолекулярные, криогенные и электрофизические средства откачки [1]. В качестве форвакуумных насосов, или насосов предварительного разрежения, хорошо себя зарекомендовали «сухие» спиральные насосы, обеспечивающие остаточное давление порядка 1 Па.

Основной недостаток насосов вакуумных спиральных (НВСП) — ограничение по скорости действия. Самые большие промышленные НВСП имеют скорость действия не более 16 л/с [2, 3]. С этой точки зрения перспективными являются агрегаты, использующие в первой ступени «сухой» насос вакуумный двухроторный (НВД) типа Рутс, а во второй ступени — безмасляный форвакуумный насос. При сохранении безмасляной среды такие агрегаты обеспечивают скорость действия до 150...200 л/с.

В России агрегаты на базе НВД (АВД-50 и АВД-150) выпускает только АО «Вакууммаш» (г. Казань), причем их комплектуют вакуумными насосами с масляным уплотнением, например золотниковыми или пластинчато-роторными [4]. В результате миграции паров масла из форвакуумного насоса агрегат перестает быть безмасляным.

В рамках выполнения проекта «Создание высокотехнологичного производства безмасляных спиральных вакуумных насосов для индустрии наносистем и наноматериалов» [5, 6] АО «Вакууммаш» в 2016 г. приступило к серийному производству трех безмасляных вакуумных спиральных насосов НВСП-4, НВСП-12 и НВСП-35. Благодаря этому появилась возможность создания отечественных безмасляных агрегатов на базе НВД.

Цель работы — исследование характеристик агрегата, состоящего из двух вакуумных насосов — двухроторного НВД-200 и спирального НВСП-12. Такой вариант агрегата будем называть АВДСП. В целях сопоставления основных параметров АВДСП и серийного двухроторного вакуумного агрегата аналогичные исследования проведены для АВД-50, включающего в себя НВД-200 и насос вакуумный пластинчато-роторный 2НВР-5ДМ.

Измерение основных откачных характеристик осуществляли согласно ГОСТ Р 54807–2011 (ISO 21360:2007). Вакуумная схема стенда комплексных экспериментальных исследований [7, 8] приведена на рис. 1, а его внешний вид — на рис. 2.

Измерение давления проводили с помощью образцовых деформационно-термопарных вакуумметров ВДТО-3, имеющих в диапазоне $1,33 \cdot 10^{-3} \dots 6,65 \cdot 10^3$ Па относительную погрешность $\pm 10\%$, а в интервале $6,65 \cdot 10^3 \dots 1,06 \cdot 10^5$ Па абсолютную погрешность ± 665 Па. Для измерения потока к измерительной камере поочередно присоединяли пять следующих расходомеров: регуляторы расхода газа MKS 1179D 11 С, MKS 1179 12 С и барабанные газовые счетчики Ritter TG 05, Ritter TG 25, ГСБ-400. Благодаря каскадному использованию с перекрывающимися диапазонами погрешность в измерении расхода во время эксперимента значительно уменьшается.

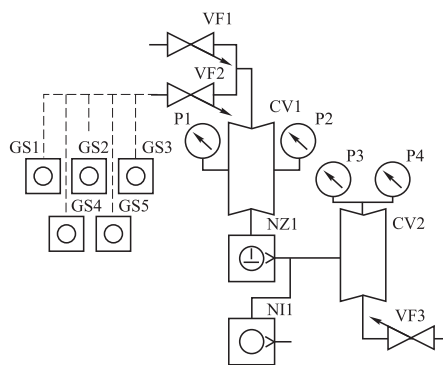


Рис. 1. Вакуумная схема стенда исследовательских испытаний:

CV1, CV2 — измерительные камеры;
P1–P4 — вакуумметры; VF1–VF3 — натекатели;
GS1–GS3 — счетчики газные; GS4, GS5 — регуляторы
расхода газа; NZ1 — насос НВД-200;
NI1 — насос НВСП-12 (2НВР-5ДМ)



Рис. 2. Стенд исследовательских испытаний

В результате исследований установлено, что полное предельное остаточное давление $p_{ост}$ по воздуху для АВДСп составило $1,38 \cdot 10^{-1}$ Па, а для агрегата АВД-50 — $1,36 \cdot 10^{-1}$ Па.

Таким образом, по остаточному давлению агрегат, включающий в свой состав безмасля-

ный спиральный насос НВСП-12, не уступает агрегату с пластинчато-роторным насосом с масляным уплотнением.

Для измерения отношения давлений на выходе $p_{вых}$ и входе $p_{вх}$ насоса НВД-200 в безрасходном режиме стенд при закрытых натекателях откачивали до предельного остаточного давления. Затем, не прекращая откачки, в измерительной камере CV2 с помощью натекателя VF3 устанавливали более высокое давление $p_{вых}$. Одновременно с измерением давления $p_{вых}$ измеряли давление $p_{вх}$. Далее с помощью натекателя VF3 устанавливали следующее более высокое давление и измерения повторяли.

В результате исследований получены зависимости степени повышения давления $\epsilon = p_{вых}/p_{вх}$ от давления на выходе $p_{вых}$ насоса НВД-200 (рис. 3).

Как и следовало ожидать, степень повышения давления НВД-200 практически не зависит от типа форвакуумного насоса.

Для измерения быстроты действия использовали метод постоянного потока, основанный на установлении некоторого постоянного давления на входе в насос за счет создания определенного потока Q через натекатели VF1 или VF2 (см. рис. 1) в измерительную камеру CV1 и измерения этого потока и давления на входе в насос.

В результате измерений получены зависимости быстроты действия $S_{вх} = Q/p_{вх}$ от давления на входе $p_{вх}$ (рис. 4).

Максимальная быстрота действия агрегата АВД-50 составила 50,4 л/с, а безмасляного агрегата АВДСп — 45 л/с. Меньшая быстрота действия агрегата со спиральным форвакуумным насосом получена за счет того, что быстрота

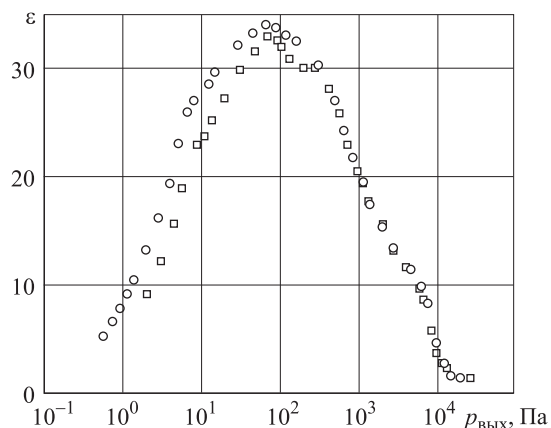


Рис. 3. Зависимость степени повышения давления ϵ от давления на выходе $p_{вых}$ НВД-200:
□ — НВД-200 + НВСП-12; ○ — НВД-200 + 2НВР-5ДМ

действия насоса НВСП-12 составляет 3,7 л/с (13,3 м³/ч), а 2НВР-5ДМ — 5 л/с (18 м³/ч).

Значительный интерес представляет также агрегат, в котором в качестве форвакуумного используется самый большой насос типоразмерного ряда НВСП — НВСП-35.

Теоретическая быстрота действия такого агрегата без учета потерь на входе может быть определена по формуле [9, 10]

$$S_{\text{вх.а}} = \frac{S_{\text{г}} (p_{\text{вых}}/p_{\text{вх}})_{\text{max}}}{\frac{S_{\text{г}}}{S_{\text{ф}}} - \left[1 - (p_{\text{вых}}/p_{\text{вх}})_{\text{max}} \right]},$$

где $S_{\text{г}}$ — геометрическая быстрота действия НВД при паспортной частоте вращения, $S_{\text{г}} = 94$ л/с; $(p_{\text{вых}}/p_{\text{вх}})_{\text{max}}$ — максимальная степень повышения давления; $S_{\text{ф}}$ — быстрота действия форвакуумного насоса.

Таким образом, при использовании насоса НВСП-35, имеющего быстроту действия 10 л/с, быстрота действия агрегата АВДСп составит около 75 л/с.

Выводы

1. Впервые в России разработан, собран и испытан безмасляный агрегат на базе

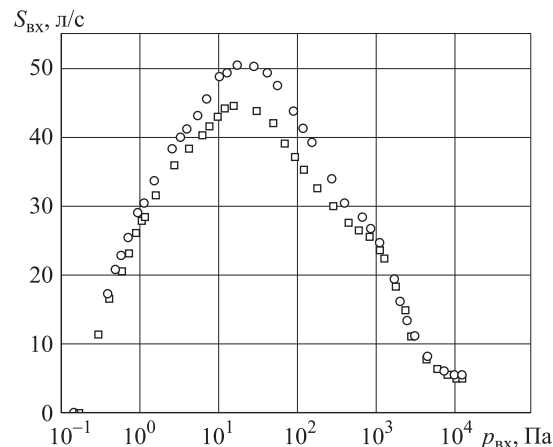


Рис. 4. Зависимость быстроты действия $S_{\text{вх}}$ от давления на входе $p_{\text{вх}}$ в агрегат:
□ — НВД-200 + НВСП-12; ○ — НВД-200 + 2НВР-5ДМ

двухроторного и спирального вакуумных насосов.

2. Проведенные экспериментальные исследования позволяют рекомендовать «сухие» агрегаты на базе спиральных и двухроторных насосов к применению в высокотехнологичных отраслях промышленного производства, требующих безмасляного вакуума.

Литература

- [1] Hablani M.H. *High-vacuum technology: a practical guide*. New York, Marcel Dekker, 1997. 547 p.
- [2] *Dry Scroll Vacuum Pumps*. Anest Iwata. URL: <http://anestiwata.com/product-category/vacuum-pumps/> (дата обращения 21 марта 2016).
- [3] Райков А.А., Бурмистров А.В., Саликеев С.И., Капустин Е.Н. Сравнительный анализ безмасляных спиральных вакуумных насосов. *Компрессорная техника и пневматика*, 2014, № 5, с. 41–44.
- [4] *Электронный магазин ОАО Вакууммаш*. URL: http://vacma.ru/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=33 (дата обращения 15 марта 2016).
- [5] Капустин Е.Н., Капустин А.Е., Бурмистров А.В., Саликеев С.И. Создание высокотехнологичного производства безмасляных спиральных вакуумных насосов в России. *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, т. 17, № 19, с. 280–283.
- [6] Капустин Е.Н., Бурмистров А.В., Саликеев С.И. Этапы разработки типоразмерного ряда отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов. *Вакуумная техника и технология*, 2015, т. 25, № 2, с. 176–180.
- [7] Бурмистров А.В., Райков А.А., Саликеев С.И., Гаврилов А.В., Матвеев В.П. Стенд исследовательских испытаний безмасляных спиральных вакуумных насосов. *Вестник Казанского технологического университета*, 2013, т. 16, № 14, с. 174–177.
- [8] Бурмистров А.В., Гаврилов А.В., Саликеев С.И., Тюрин А.В., Пузанков С.М. Стенд исследования процесса откачки конденсируемых паров вакуумными насосами с газобалластным устройством. *Компрессорная техника и пневматика*, 2016, № 2, с. 19–23.
- [9] Бурмистров А.В., Беляев Л.А. Концепция объемно-скоростной откачки. Метод расчета двухроторных вакуумных насосов. *Вакуумная техника и технология*, 2002, т. 12, № 2, с. 85–90.
- [10] Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., ред. *Вакуумная техника: справочник*. Москва, Машиностроение, 2009. 590 с.

References

- [1] Hablani M.H. *High-vacuum technology: a practical guide*. New York, Marcel Dekker, 1997. 547 p.
- [2] *Dry Scroll Vacuum Pumps*. Anest Iwata. Available at: <http://anestiwata.com/product-category/vacuum-pumps/> (accessed 21 March 2016).
- [3] Raikov A.A., Burmistrov A.V., Salikeev S.I., Kapustin E.N. Sravnitel'nyi analiz bezmaslianykh spiral'nykh vakuumnykh nasosov [Comparative analysis of oil-free scroll vacuum pumps]. *Kompressorinaia tekhnika i pnevmatika* [Compressor technology and pneumatics]. 2014, no. 5, pp. 41–44.
- [4] *Elektronnyi magazin OAO Vakuummash* [E-shop of Vakuummash]. Available at: http://vacma.ru/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=33 (accessed 15 March 2016).
- [5] Kapustin E.N., Kapustin A.E., Burmistrov A.V., Salikeev S.I. Sozdanie vysokotekhnologichnogo proizvodstva bezmaslianykh spiral'nykh vakuumnykh nasosov v Rossii [High-tech production spiral oil-free vacuum pumps in Russia]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University]. 2014, vol. 17, no. 19, pp. 280–283.
- [6] Kapustin E.N., Burmistrov A.V., Salikeev S.I. Etapy razrabotki tiporazmernogo riada otechestvennykh bezmaslianykh spiral'nykh vakuumnykh nasosov [Stages of development of domestic standard series of oil-free scroll vacuum pumps]. *Vakuumnaia tekhnika i tekhnologiia* [Vacuum equipment and technology]. 2015, vol. 25, no. 2, pp. 176–180.
- [7] Burmistrov A.V., Raikov A.A., Salikeev S.I., Gavrilov A.V., Matveev V.P. Stend issledovatel'skikh ispytaniy bezmaslianykh spiral'nykh vakuumnykh nasosov [Stand test research oil-free spiral vacuum pumps]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University]. 2013, vol. 16, no. 14, pp. 174–177.
- [8] Burmistrov A.V., Gavrilov A.V., Salikeev S.I., Tiurin A.V., Puzankov S.M. Stend issledovaniia protsessa otkachki kondensiruemykh parov vakuumnymi nasosami s gazoballastnym ustroystvom [Stand studies of condensed vapor pumping process vacuum pumps with gas ballast device]. *Kompressorinaia tekhnika i pnevmatika* [Compressor technology and pneumatics]. 2016, no. 2, pp. 19–23.
- [9] Burmistrov A.V., Beliaev L.A. Kontseptsiiia ob"emno-skorostnoi otkachki. Metod rascheta dvukhrotornykh vakuumnykh nasosov [The concept of space-speed pump. The calculation method of double-rotor vacuum pumps]. *Vakuumnaia tekhnika i tekhnologiia* [Vacuum equipment and technology]. 2002, vol. 12, no. 2, pp. 85–90.
- [10] *Vakuumnaia tekhnika: Spravochnik* [Vacuum Technology: A Handbook]. Ed. Demikhov K.E., Panfilov Iu.V. Moscow, Mashinostroenie publ., 2009. 590 p.

Статья поступила в редакцию 22.04.2016

Информация об авторах

БУРМИСТРОВ Алексей Васильевич (Казань) — доктор технических наук, профессор кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, Казань, Российская Федерация, К. Маркса ул., д. 68, e-mail: burm@kstu.ru).

САЛИКЕЕВ Сергей Иванович (Казань) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, Казань, Российская Федерация, К. Маркса ул., д. 68, e-mail: salikeev_s@mail.ru).

Information about the authors

BURMISTROV Aleksey Vasilievich (Kazan) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Vacuum Equipment for Electro-Physical Installations. Kazan National Research Technological University (420015, Kazan, Russian Federation, Karl Marx St., Bldg. 68, e-mail: burm@kstu.ru).

SALIKEEV Sergey Ivanovich (Kazan) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Vacuum Equipment for Electro-Physical Installations. Kazan National Research Technological University (420015, Kazan, Russian Federation, Karl Marx St., Bldg. 68, e-mail: salikeev_s@mail.ru).