

**КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ «БОЛЬШОГО»
ОТЕЧЕСТВЕННОГО БЕЗМАСЛЯНОГО СПИРАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО
НАСОСА С БЫСТРОТОЙ ДЕЙСТВИЯ 60 М³/Ч.**

**COMPLEX EXPERIMENTAL STUDY OF A "LARGE" DOMESTIC OIL-FREE
SCROLL VACUUM PUMP WITH PUMPING SPEED OF 60 M³/HR.**

А.В.Тюрин^{1,2} / tyurin92@mail.ru,

А.В.Бурмистров¹ / burm@kstu.ru,

Е.Н. Капустин² / kazan@vacma.ru.

A. Tyurin, A. Burmistrov, E. Kapustin

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, г.Казань

²АО «Вакууммаш», г.Казань

В настоящей работе представлены результаты измерений основных параметров безмасляного спирального насоса НВСП-60. Показано, что предельное остаточное давление при частоте вращений 1500 об/мин составляет около 1Па, а номинальная быстрота действия – 13,5 л/с.

This paper presents the results of measurements of the main parameters of the oil-free spiral pump NVSp-60. It is shown that the ultimate pressure at rotation speed of 1500 rpm is about 1Pa, and the nominal pumping speed is 13.5 l/s.

Ключевые слова: спиральный вакуумный насос, предельное остаточное давление, быстрота действия, частота вращения

Key words: scroll vacuum pump, ultimate pressure, pumping speed, rotation speed

ВВЕДЕНИЕ

Для отечественной промышленности начало XXI века стало периодом разработки и освоения выпуска механических безмасляных средств откачки [1]. Так, первые безмасляные спиральные вакуумные насосы появились лишь в 2016 году и были представлены тремя насосами серии НВСП, выпускаемыми АО «Вакууммаш» (г.Казань), с быстротой действия 4, 12 и 35 м³/ч. Такой линейки явно недостаточно для удовлетворения потребностей у потребителей безмасляной откачки и требовалось ее расширение в сторону создания машины с большей быстротой действия. Анализ насосов, выпускаемых ведущими зарубежными производителями, показывает, что самые большие машины имеют быстроту действия 60 м³/ч. Поэтому в настоящее время завершаются работы по созданию насоса НВСП-60 с геометрической быстротой действия 60 м³/ч [2] и в предлагаемой работе представлены результаты комплексных экспериментальных исследований первого образца.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Безмасляный спиральный вакуумный насос НВСП-60 (рис.1) – машина с двухсторонним подвижным спиральным элементом. За счет этого рабочий процесс в НВСП-60 протекает одновременно в двух параллельно включенных камерах, что обеспечивается удваивание быстроты действия насоса, при незначительном увеличении габаритных размеров.



Рис. 1. Вид стенда комплексных экспериментальных исследований НВСП.

Для проведения комплексных экспериментальных исследований НВСП-60 был создан стенд, позволяющий получать следующие зависимости:

- предельного остаточного давления насоса от частоты вращения приводного вала;
- быстроты действия от давления на входе в насос при различных частотах вращения приводного вала;
- потребляемой мощности от давления на входе в насос при различных частотах вращения приводного вала;
- температуры корпуса, подвижного и неподвижного спиральных элементов, газа на входе и выходе от давления на входе в насос.

Измерения быстроты действия насоса проводилось согласно ISO 21360-1:2012 Давление измерялось образцовым деформационно-термопарным вакуумметром ВДТО-2 с относительной погрешностью $\pm 10\%$ в диапазоне от $1,33 \cdot 10^{-3}$ до $6,65 \cdot 10^3$ Па, и абсолютной погрешностью ± 665 Па в диапазоне от $6,65 \cdot 10^3$ до $1,06 \cdot 10^5$ Па. Расход газа, поступающий в измерительную камеру, определялся при помощи регуляторов расхода газа MKS.

Мощность, потребляемая насосом, измерялась многофункциональным измерительным прибором ЩМ120. Частота вращения изменялась при помощи частотного преобразователя EI-8001-005H., а ее величина контролировалась по контрастной метке, закрепленной на крыльчатке электродвигателя с помощью фототахометра АКТАКОМ АТТ-6002.

С целью получения температурного поля насоса было установлено пять термопар. Одна термопара устанавливалась на корпус насоса максимально близко к газобалластному устройству, две термопары также устанавливались на корпус насоса, но максимально близко к входному и выходному патрубкам насоса. Еще две термопары измеряли температуру газа на входе и выходе соответственно. Значения температур фиксировались каждые 5 минут до достижения стационарного теплового режима, который характеризовался тем, что температура в течении 10 минут менялась не более чем на 1°C . Измерение температур проводилось при штатной частоте вращения (1500 об/мин) для трех наиболее характерных давлений: предельное остаточное, 1330 Па и 13300 Па.

Принципиальная схема стенда испытаний НВСП-60 представлена на рис. 2.

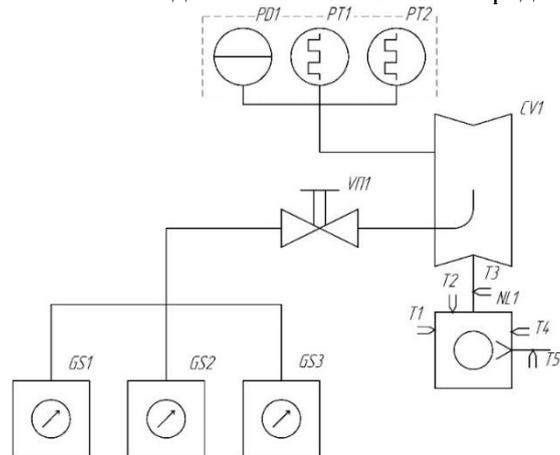


Рис. 2. Принципиальная схема стенда для исследования НВСП:
 NL1 – экспериментальный НВСП-60; CV1 – измерительная камера;
 PT1, PT2, PD1 – термопарные и деформационные датчики, входящие в состав ВДТО-2; V11 – ручной клапан; G1..G3 – регуляторы расхода газа; T1..T6 – термопары.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 представлена зависимость предельного остаточного давления от частоты вращения приводного вала. Данная зависимость является типичной для всех НВСП [3, 4]. При увеличении частоты вращения до 1000 об/мин предельное остаточное давление резко снижается. Дальнейшее увеличение частоты вращения приводит к незначительному уменьшению предельного остаточного давления, т.е. зависимость стремится к асимптоте. В данном случае это давление ≈ 1 Па. Описанное выше явление происходит в силу того, что поток обратных перетеканий снижается с повышением частоты вращения, но только до определенного уровня, а далее он остается практически постоянным.

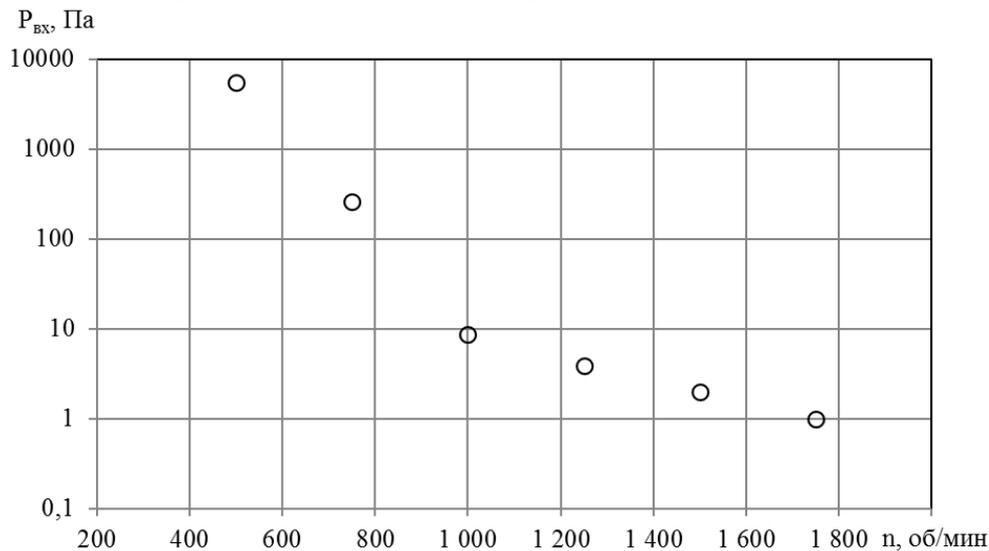


Рис. 3. Зависимость предельного остаточного давления НВСП-60 от частоты вращения приводного вала.

Зависимость быстроты действия от давления на входе аналогична характеристикам вакуумных насосов с масляным уплотнением (ВНМУ), что позволяет использовать их в качестве безмасляной альтернативы ВНМУ. Положительным качеством

НВСП-60 является то, что при повышении давления выше 1000 Па быстрота действия практически не снижается. Следует также отметить, что с увеличением частоты вращения приводного вала расширяется участок с номинальной быстротой действия насоса (рис. 4). Так же, как и в случае с предельным остаточным давлением, рост быстроты действия с увеличением частоты вращения замедляется.

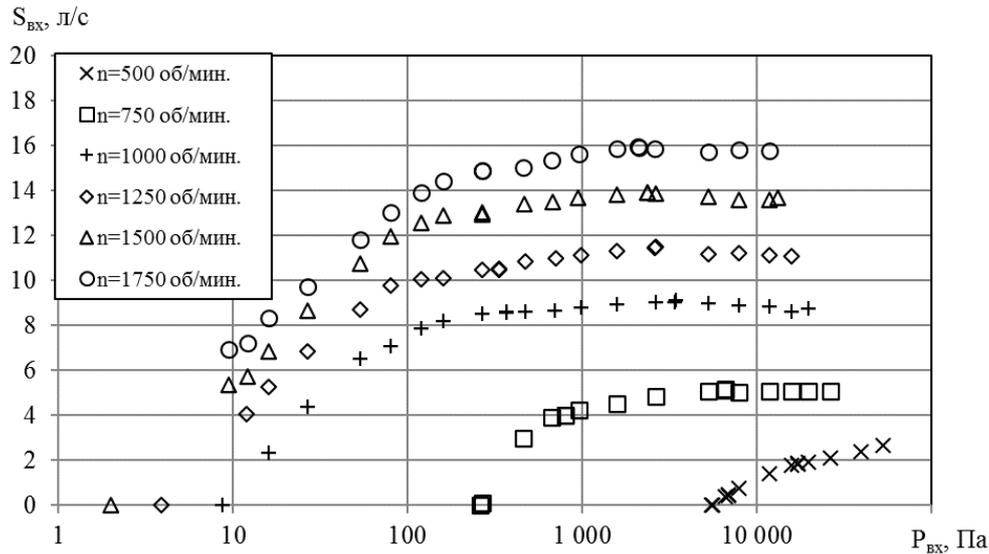


Рис. 4. Зависимости быстроты действия НВСП-60 от давления на входе при различных частотах вращения приводного вала.

Характерно, что мощность, потребляемая НВСП - 60, слабо зависит от входного давления. Рост мощности при повышении давления проявляется только при частотах вращения приводного вала, больших 1250 об/мин. Это связано с возникновением пережатия газа в рабочих полостях насоса.

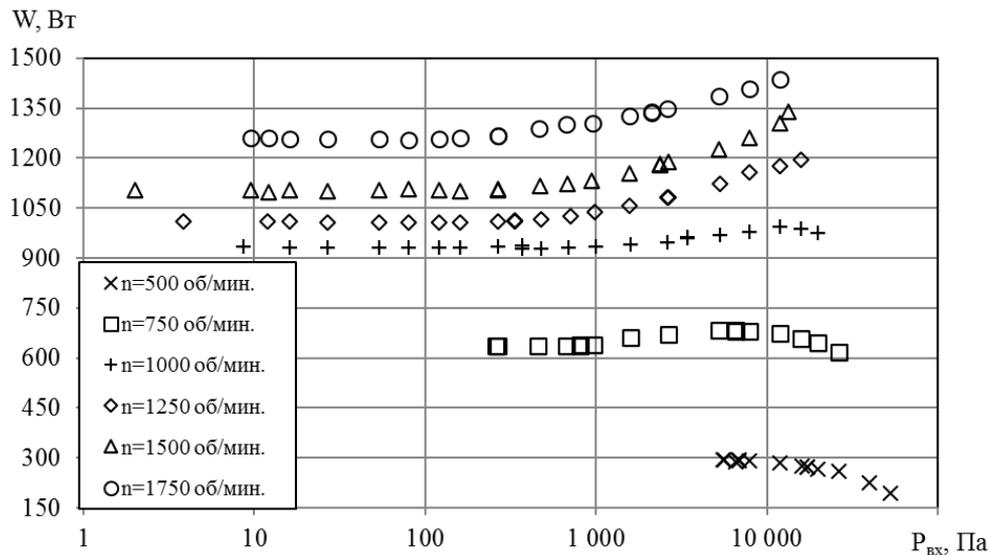


Рис. 5. Зависимость потребляемой мощности от давления на входе в насос при различных частотах вращения приводного вала.

В результате измерений также были установлены значения температур, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений температур

Место установки термомпары	Максимальное значение температуры, °С (при давлении на входе, Па)	Минимальное значение температуры, °С (при давлении на входе, Па)
Корпус насоса (максимально близко к газобалластному устройству)	43,6 (13300)	39,2 (остаточное)
Корпус насоса (максимально близко к входному патрубку)	51,8 (13300)	43,8 (остаточное)
Во входном патрубке	30,6 (13300)	20,9 (остаточное)
Корпус насоса (максимально близко к выходному патрубку)	47,8 (1330)	46 (остаточное)
В выходном патрубке	74,7 (13300)	46,5 (остаточное)

Из таблицы видно, что максимальные температуры наблюдаются при напуске на вход насоса потока газа. Также следует отметить, что работа насоса на предельном остаточном давлении является наименее энергозатратным режимом работы в силу того, что насос практически не совершает работы по переносу газа с выхода на вход.

ВЫВОДЫ

Проведены комплексные экспериментальные исследования первого отечественного «большого» спирального вакуумного насоса. Полученные экспериментальные характеристики подтверждают правильность принятых конструктивных решений и могут быть использованы для верификации разрабатываемых математических моделей «больших» насосов с двухсторонним подвижным элементом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмистров А.В., Капустин Е.Н., Саликеев С.И., Исаев А.А., "Перспективы развития отечественных «безмасляных» средств создания вакуума" Материалы XIV Международной научно-технической конференции "Вакуумная техника, материалы и технология" (Москва, КВЦ «Сокольники», 2019, 16-17 апреля) / Москва. НОВЕЛЛА.2019-275с.. 2019, с.15-19.
2. Бурмистров А.В. 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. // Вакуумная техника, материалы и технология: материалы 13-й Международной научно – технической конференции. 24-26 апреля 2018 г., Москва. – Москва, 2018. – С. 22 – 25.
- 3.Li, Z. Theoretical and experimental study of dry scroll vacuum pump / Z. Li, L. Li, Y. Zhao, G. Bu, P. Shu // Vacuum. – 2010. – vol.84, №3. –pp. 415–421.
4. Бурмистров, А.В. Исследование характеристик типоразмерного ряда отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов / А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, В.А. Аляев, Е.Н. Капустин // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология», М.: НОВЕЛЛА. 2016. – С.12 – 16.