

ПУСКО-НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ

С.Б. Нестеров, Е.В. Жировов, А.М. Зверев, В.А. Кобзев, К.В. Сметанин

АННОТАЦИЯ

На техническом комплексе космодрома Восточный специалисты подрядной организации под руководством Центра эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры и его филиалов — Космический центр «Восточный» и НИИ стартовых комплексов им В.П. Бармина (входят в Госкорпорацию «Роскосмос») приступили к пуско-наладочным работам системы технологического вакуумирования комплекса вакуумной установки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА, КОСМОДРОМ

COMMISSIONING OF THE TECHNOLOGICAL VACUUMING SYSTEM OF THE VACUUM INSTALLATION COMPLEX

S.B. Nesterov, E.V. Zhironov, A.M. Zverev, V.A. Kobzev, K.V. Smetanin

ABSTRACT

At the Vostochny Cosmodrome technical complex, specialists of a contracting organization under the leadership of the Center for the Operation of Ground—based Space Infrastructure Facilities and its branches - the Vostochny Space Center and the V.P. Barmin Research Institute of Launch Complexes (part of the Roscosmos State Corporation) the commissioning of the technological vacuuming system of the vacuum installation complex has begun.

KEYWORDS

VACUUM TOOL, SPACEPORT

Для создания необходимой среды внутри установки необходимо более 30 вакуумных насосов пяти типов. Первая партия таких насосов была поставлена на космодром в декабре 2021 года. Все они изготовлены на отечественных предприятиях в городах Казань и Омск.

В понедельник, 28 марта 2022 года, специалисты предприятий Роскосмоса приступили к настройке аппаратуры, отработке запорной арматуры (всех клапанов и заглушек технологической системы вакуумирования) и к пробным включениям вакуумных насосов.

Вакуумная установка длиной 14 метров и диаметром 9 метров — это агрегат, необходимый для проверки на герметичность отсеков пилотируемых транспортных кораблей и других космических аппаратов. Внутри неё имитируется давление, с нагрузкой на все элементы конструкции корабля, аналогичное тому, которое создается в орбитальном полете. Это позволяет оценить механическое взаимодействие элементов до старта и посмотреть, как ведет себя конструкция в космическом вакууме».

Источник: www.roscosmos.ru

Основные технические характеристики корпуса вакуумной установки:

- рабочее давление в герметизируемом объеме, не более $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па ($1,0 \times 10^{-5}$ мм рт. ст.);

- норма герметичности не более $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па·м³/с (50,25 мкм рт. ст. л/с).

Для проведения испытаний корпуса камеры в соответствии с методиками проведения испытаний на герметичность, специалистами АО «ЦЭНКИ» и АО «ВАКУУММАШ» разработана Технологическая система вакуумирования (ТСВ).

В состав ТСВ входит:

- вакуумное откачное оборудование;
- электрооборудование ТСВ;
- пневмооборудование ТСВ;
- система обратного водоснабжения ТСВ.

На полностью собранной на месте эксплуатации ТСВ специалистами АО «Криоген-монтаж», АО «Вакууммаш», АО "НТК "КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА" и АО «ЦЭНКИ» выполнена отладка в объеме требований технических условий.

Таблица 1
Состав вакуумного откачного оборудования
производства АО «Вакууммаш»

Наименование	Параметры
Насос вакуумный винтовой НВВ-630 (2 шт.)	
Быстрота действия при рабочем давлении 500 Па (4 мм рт. ст.), м ³ /ч	630
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	5 ($3,8 \times 10^{-2}$)
Наибольшее рабочее давление, кПа (мм рт. ст.)	107 (800)
Масса, кг (не более)	800
Мощность электродвигателя, не более кВт	15
Охлаждение	водяное
Насос вакуумный двухроторный НВД-2100 (2 шт.)	
Быстрота действия при рабочем давлении 30 Па, (2×10^{-1} мм рт. ст.), м ³ /ч	2100
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	$6,7 \times 10^{-1}$ (5×10^{-3})
Наибольшее рабочее давление, кПа (мм рт. ст.)	10 мм
Масса, кг (не более)	480
Мощность электродвигателя, не более кВт	15
Охлаждение	водяное
Агрегат вакуумный двухроторный АД-50/10 (2 шт.)	
Быстрота действия при рабочем давлении 30 Па, (2×10^{-1} мм рт. ст.), м ³ /ч	200
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	$6,7 \times 10^{-1}$ (5×10^{-3})
Наибольшее рабочее давление, кПа (мм рт. ст.)	107 (800)
Масса, кг (не более)	80
Мощность электродвигателя, не более кВт	5
Охлаждение	воздушное
Насос вакуумный турбомолекулярный НВТ-400 (2 шт.)	

Целью отладки на месте эксплуатации являлись проверка совместного функционирования и работоспособности составных частей ТСВ, проверка взаимодействия его механизмов, устранение выявленных конструктивных и производственных недостатков.

Состав вакуумного откачного оборудования (разработчик и изготовитель АО «Вакумаш», г. Казань, генеральный директор Капустин Евгений Николаевич) приведен в таблице 1.

Продолжение таблицы 1

Быстрота действия при рабочем давлении 1×10^{-2} Па, ($7,5 \times 10^{-5}$ мм рт.ст.), л/с	3200
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	$6,0 \times 10^{-6}$ ($4,5 \times 10^{-8}$)
Наибольшее рабочее давление, кПа (мм рт. ст.)	1,3 (1×10^{-2})
Масса, кг (не более)	180
Мощность электродвигателя, не более кВт	1,9
Охлаждение	водяное

Состав вакуумного откачного оборудования (разработчик и изготовитель АО «НТК «Криогенная техника», г. Омск, генеральный директор Громов Анатолий Владимирович) приведен в таблице 2.

Таблица 2

Состав вакуумного откачного оборудования
производства АО «НТК «Криогенная техника»

Наименование	Параметры
Насос вакуумный криогенный НВК Ду 630-К (1 шт.)	
Быстрота действия по аргону (азоту) в диапазоне давлений от 5×10^{-2} до от $1,33 \times 10^{-2}$ Па, м ³ /с, не менее	12
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	$1,3 \times 10^{-3}$ ($1,0 \times 10^{-5}$)
Наибольшее давление запуска, Па (мм рт. ст.)	5 ($3,8 \times 10^{-2}$)
Масса, кг (не более)	285
Мощность, потребляемая от сети переменного трехфазного тока	16,5
Охлаждение	водяное
Время выхода на режим, мин	90
Насос вакуумный криогенный НВК Ду 900-30 (1 шт.)	
Быстрота действия по аргону (азоту) в диапазоне давлений от $1,33 \times 10^{-3}$ до от $5,0 \times 10^{-2}$ Па, м ³ /с, не менее	30
Предельное остаточное давление, Па (мм рт. ст.)	$1,3 \times 10^{-4}$ ($1,0 \times 10^{-6}$)
Наибольшее давление запуска, Па (мм рт. ст.)	5 ($3,8 \times 10^{-2}$)
Масса, кг (не более)	360
Мощность, потребляемая от сети переменного трехфазного тока	16,5
Охлаждение	водяное
Время выхода на режим, мин	260

Последовательность запуска откачного оборудования при вакуумировании корпуса вакуумной установки приведена в таблице 3.

График вакуумирования корпуса вакуумной установки представлен на рисунке 1. За 12 часов корпус вакуумной установки отвакуумирован до остаточного давления $2,5 \times 10^{-4}$ Па ($1,9 \times 10^{-6}$ мм рт. ст.).

Проведен контроль нормы герметичности корпуса вакуумной установки манометрическим методом. Через определенные промежутки времени сняты показания вакуумметра (вакуумметр комбинированный МЕРАДАТ-ВИТ, преобразователь манометрический

ионизационный ПМИ-2) и построен график зависимости суммарного потока газовой выделения от внутренних поверхностей изделия и потока натекания через течи от времени (рисунок 2).

Таблица 3
Последовательность запуска откачного оборудования

Тип насоса	Количество	Давление запуска, Па (мм рт. ст.)	Время от начала вакуумирования корпуса
НВВ-630	2	100 000 (760)	0
НВД-2100	2	4400 (33)	3
НВК Ду 630-К	1	1×10^{-1} ($7,5 \times 10^{-4}$)	7
НВК Ду 900-30	1	1×10^{-1} ($7,5 \times 10^{-4}$)	7
НВТ-400 (ф/в АД-50/10)	2	$5,0 \times 10^{-4}$ ($7,5 \times 10^{-5}$)	8,5

Суммарный поток газовой выделения рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times V,$$

где V – расчетный объем корпуса, м^3 ; ΔP – изменение давления за время наблюдения, Па; Δt – время наблюдения, с.

Суммарный поток газовой выделения от внутренних поверхностей изделия и поток натекания через течи в корпус камеры, измеренный манометрическим методом, составляет $6,2 \times 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па /с}$, при норме герметичности $6,7 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ Па /с}$ и менее.

На примере реализации вышеизложенной работы подтверждается эффективность применения вакуумного оборудования отечественного производства для выполнения ответственных и сложных проектов.

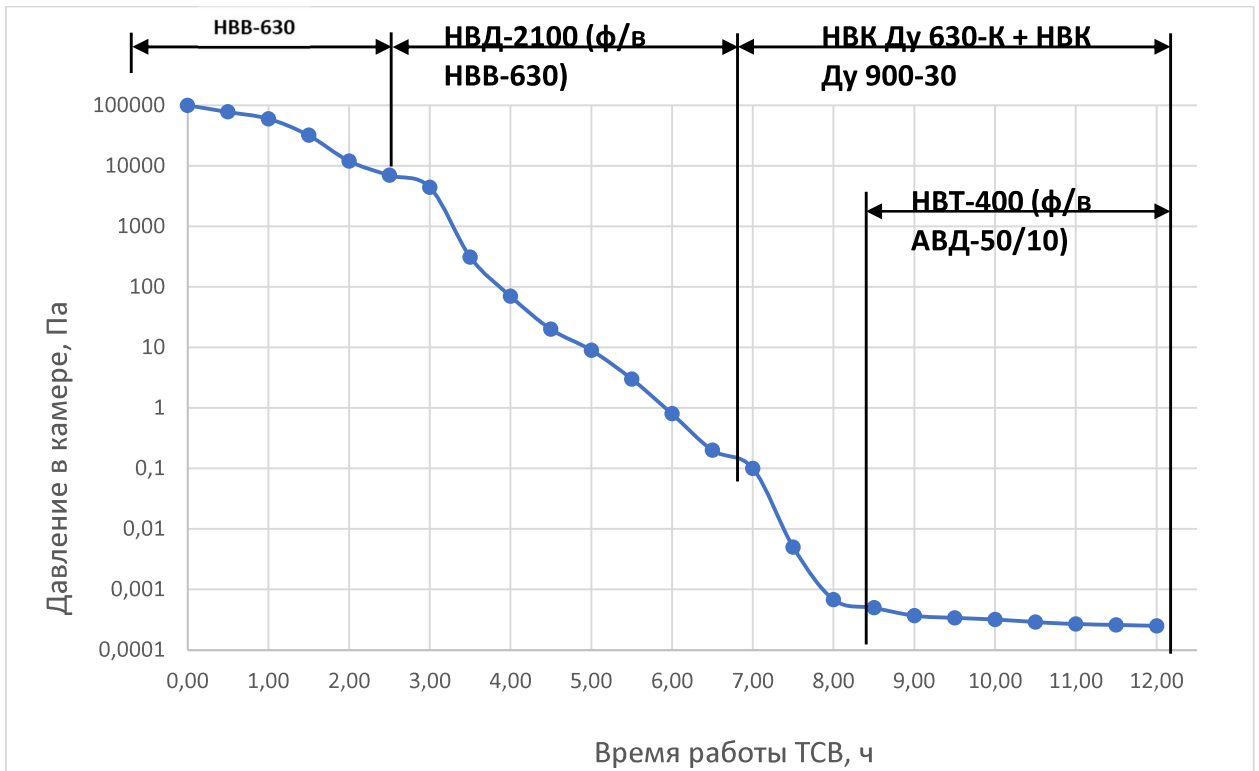


Рис. 1. График вакуумирования корпуса вакуумной установки объемом 850 м³

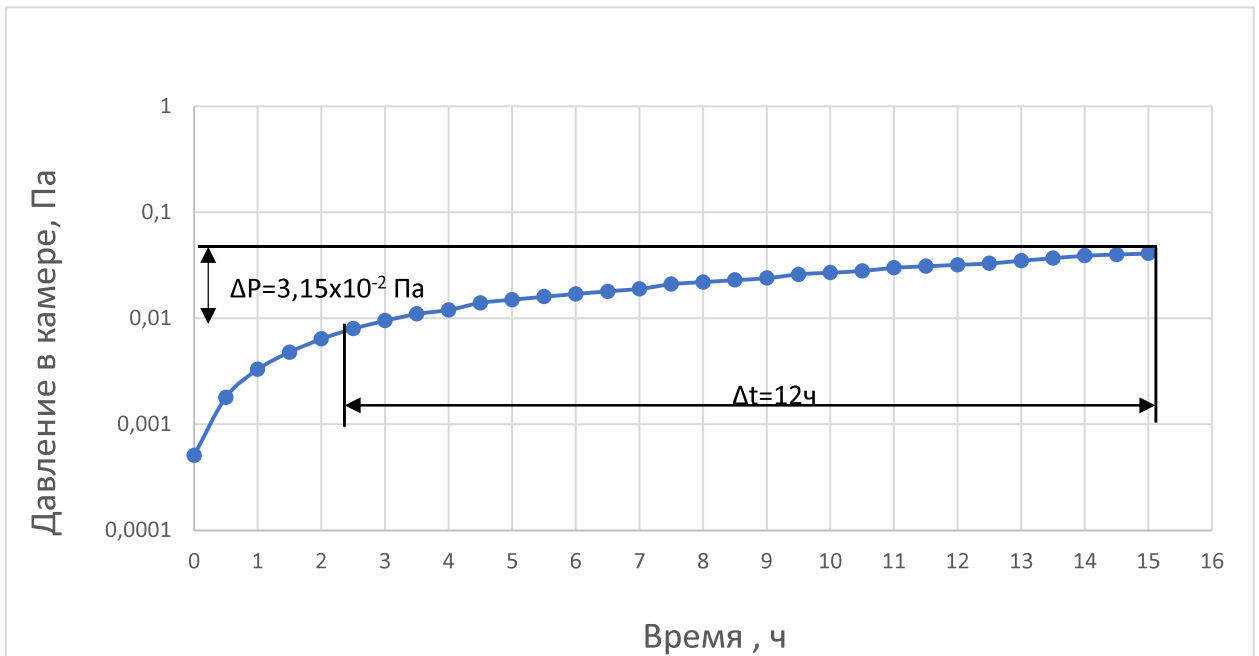


Рис. 2. График зависимости суммарного потока газовой выделений от внутренних поверхностей изделия и потока натекания через течи от времени



Рис. 3. Внешний вид вакуумной камеры длиной 14 метров и диаметром 9 метров



Рис. 4. Внешний вид насоса вакуумного двухроторного НВД-200 (слева) и насоса вакуумного спирального НВСп-35 (производство АО «Вакууммаш», г. Казань)

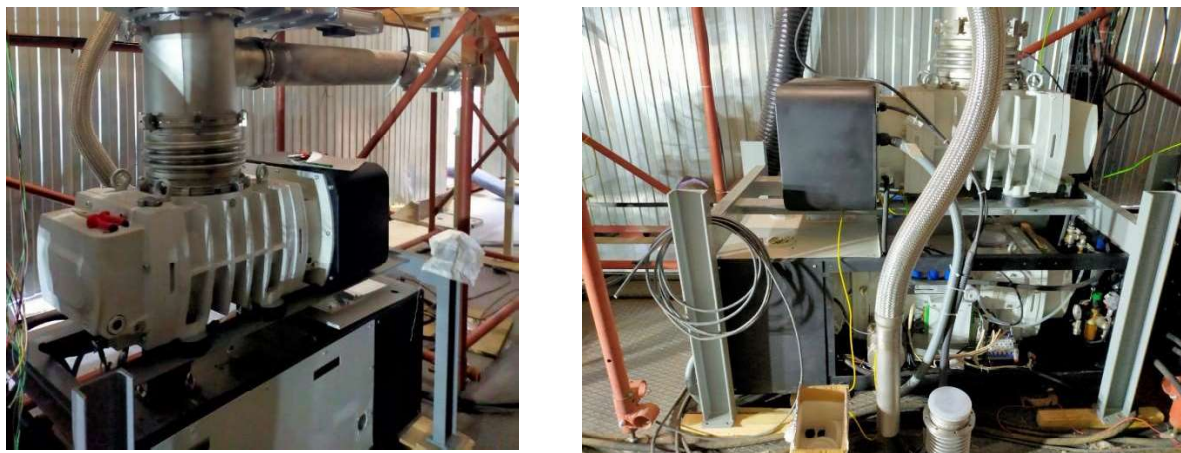


Рис. 5. Внешний вид насоса вакуумного винтового НВВ-630 (слева) и насос вакуумного двухроторного НВД-2100 (производство АО «Вакууммаш», г. Казань)



Рис. 6. Внешний вид насоса вакуумного турбомолекулярного НВТ-400 (производство АО «Вакууммаш», г. Казань)



Рис. 7. Внешний вид насосов вакуумных криогенных НВК-900 и НВК-630
(производство АО «НТК Криогенная техника», г. Омск)