

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ СТЕНДА ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

П. Е. Горшенин¹, Т. В. Горшенина², Д. В. Попченков³

^{1,2,3} Научно-исследовательский институт физических измерений, Пенза, Россия
¹gpe2014@yandex.ru, ²tatiana/3113@mail.ru, ³popchenkov79@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования является стенд высоких давлений. Предметом исследования являются способы усовершенствования систем стенда высоких давлений под современные требования. Целью работы является повышение достоверности результатов испытаний датчиков-преобразующей аппаратуры, сокращение трудоемкости выполнения операций настройки, испытаний. *Материалы и методы.* В процессе работы проведен анализ технического состояния и дефектация стенда, по результатам которых были определены направления его совершенствования, обеспечивающие высокую эффективность, производительность и достоверность процессов испытаний с одновременным увеличением диапазона воспроизводимых значений давления с учетом базовых принципов его работы и применения более современной и совершенной элементной базы. Изготовлены детали и узлы, а также выполнены их монтаж, сборка и доведение до рабочего состояния. Проведены пуско-наладочные работы, включающие комплексное опробование, наладку, а также подготовку стенда к производственному процессу. *Результаты.* За счет внедрения нового принципа действия системы подачи давления достигнуто увеличение диапазона воспроизводимых значений избыточного давления до 2000 кг/см², обеспечена подача избыточного давления на датчиков-преобразующую аппаратуру при одновременном воздействии пониженных температур до минус 196 °С. Использование вновь разработанного программного обеспечения позволило автоматизировать управление подачей жидкого азота. *Выводы.* Реализованные решения в целях совершенствования системы подачи избыточного давления и вновь разработанная конструкция стенда решают актуальные задачи создания датчиков-преобразующей аппаратуры для измерения давлений в жестких условиях, характерных для эксплуатации изделий ракетно-космической техники. Автоматизация стенда позволила сократить время регистрации аналоговых выходных сигналов при проведении испытаний, а также повысить точность и достоверность воспроизведения температуры за счет использования высокоточного цифрового регистрирующего оборудования и оптимизации процесса расхода жидкого азота для воспроизведения требуемых значений температуры.

Ключевые слова: воспроизведение давления, регулирование давления, подача жидкого азота, захлаживание

Для цитирования: Горшенин П. Е., Горшенина Т. В., Попченков Д. В. Совершенствование систем стенда высоких давлений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 1. С. 14–19. doi: 10.21685/2307-5538-2025-1-2

IMPROVEMENT OF HIGH PRESSURE BENCH SYSTEMS

P.E. Gorshenin¹, T.V. Gorshenina², D.V. Popchenkov³

^{1,2,3} Scientific Research Institute of Physical Measurements, Penza, Russia
¹gpe2014@yandex.ru, ²tatiana/3113@mail.ru, ³popchenkov79@mail.ru

Abstract. *Background.* The object of the study is a high-pressure stand. The subject of the study is the ways to improve the systems of the high-pressure stand to meet modern requirements. The purpose of the work is to increase the reliability of the DPA test results, reduce the complexity of performing tuning operations, tests. *Materials and methods.* In the process of improvement, an analysis of the technical condition and defect of the stand was carried out, according to the results of which the directions for improving the stand were determined, ensuring high efficiency, productivity and reliability of testing processes and increasing the range of reproducible pressure values, based on the basic principles of its operation and functioning, as well as through the use of a more modern and advanced element base. Parts and assemblies have been manufactured, as well as their installation and assembly to working condition. Commissioning works have been carried out, including comprehensive testing, commissioning of the stand, as well as preparation of the stand for the production process. *Results.* Due to the new principle of operation of the pressure supply system, an increase in the range of reproducible overpressure values up to 2000 kg/cm² was achieved, the supply of overpressure to the DPA was ensured while simultaneously exposed to low temperatures up to minus 196 °C. Thanks to the developed software, the control of the liquid nitrogen supply is automated. *Conclusions.* The implemented solutions in order to improve the overpressure supply system and the newly developed stand design solve the actual problems of sensor-converting equipment for measuring

pressures in harsh operating conditions typical for the operation of rocket and space technology products. Automation of the stand made it possible to achieve a reduction in the registration time of analog output signals during testing, increase the accuracy and reliability of temperature reproduction due to high-precision digital recording equipment, optimize the consumption of liquid nitrogen to reproduce the required temperature values.

Keywords: pressure reproduction, pressure regulation, liquid nitrogen supply, cooling down

For citation: Gorshenin P.E., Gorshenina T.V., Popchenkov D.V. Improvement of high pressure bench systems. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* = *Measuring. Monitoring. Management. Control*. 2025;(1):14–19. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-1-2

В условиях высокотехнологичного производства ракетно-космической техники к характеристикам применяемой датчиково-преобразующей аппаратуры (ДПА) предъявляются чрезвычайно высокие требования. Проведение испытаний с целью подтверждения характеристик является одной из наиболее важных стадий разработки и производства ДПА. При отсутствии современного испытательного оборудования, обеспечивающего воспроизведение условий испытаний, соответствующих реальным условиям эксплуатации, с заданными параметрами и требуемой точностью невозможно достоверно оценить качество выпускаемой ДПА [1].

Для повышения качества проведения испытаний в требуемых диапазонах избыточного давления возникла необходимость в новом испытательном стенде.

Объектом исследований является стенд высоких давлений, совершенствование систем которого производится под современные требования.

Основным назначением стенда является экспериментальная отработка ДПА статико-динамического давления на устойчивость к воздействию избыточного давления при одновременном воздействии пониженных температур.

Областью применения совершенствуемого стенда является обеспечение качества и надежности средств измерений давления, предназначенных для применения в составе ракетно-космической техники, в том числе: системах контроля отделения ступеней ракет, системах контроля и диагностики жидкостных ракетных двигателей, блоков хранения, блоках стандарта частоты водородного бортового синхронизирующего устройства, системах терморегулирования, герметичных отсеках и системе управления космических аппаратов, а также в составе объектов наземной космической инфраструктуры.

Полных функциональных аналогов стенда высоких давлений, обеспечивающих подачу избыточного давления на испытываемое изделие при одновременном его захлаживании не выявлено, но были определены изделия, обладающие схожими техническими характеристиками и функциональностью в части подачи избыточного давления и отдельно захлаживания изделия.

Работы по созданию стендов воспроизведения избыточного давления в мире проводят: ООО НПП «Элемер» [2], ООО «Альпапаскаль» [3, 4], WIKA Alexander Wiegand SE & Co.KG. В ходе оценки технического уровня стенда высоких давлений установлено его соответствие техническому уровню аналогов, как в части оборудования для воспроизведения избыточного давления, так и в части оборудования для воспроизведения пониженных температур.

Совершенствование систем стенда высоких давлений направлено на:

- увеличение диапазона воспроизводимых значений избыточного давления до 2000 кг/см²;
- обеспечение подачи избыточного давления на ДПА при одновременном воздействии пониженных температур до минус 196 °С;
- автоматизированное управление подачей жидкого азота;
- обеспечение возможности электрического подключения испытываемых и контрольных датчиков, имеющих различные присоединительные размеры, посредством измерительных кабелей, технологических кабельных перемычек;
- обеспечение возможности автоматизированной регистрации выходных сигналов испытываемой ДПА;
- продление ресурса работы стенда;
- сокращение трудоемкости выполнения операций настройки, испытаний;
- повышение достоверности результатов испытаний ДПА;
- повышение безопасности персонала;
- уменьшение габаритных размеров стенда.

Принцип работы стенда заключается в воздействии на мембрану испытываемого датчика избыточного давления при одновременном захлаживании датчика до значений температуры минус 196 °С.

Структурно стенд состоит из двух систем: системы подачи избыточного давления и системы подачи жидкого азота. Основным назначением системы подачи жидкого азота является захлаживание испытываемого датчика до температуры минус 196 °С. Система воспроизведения избыточного давления предназначена для подачи избыточного давления на приемную полость датчика и регистрацию его выходных сигналов в процессе проведения испытаний. Структурная схема стенда высоких давлений до совершенствования представлена на рис. 1.

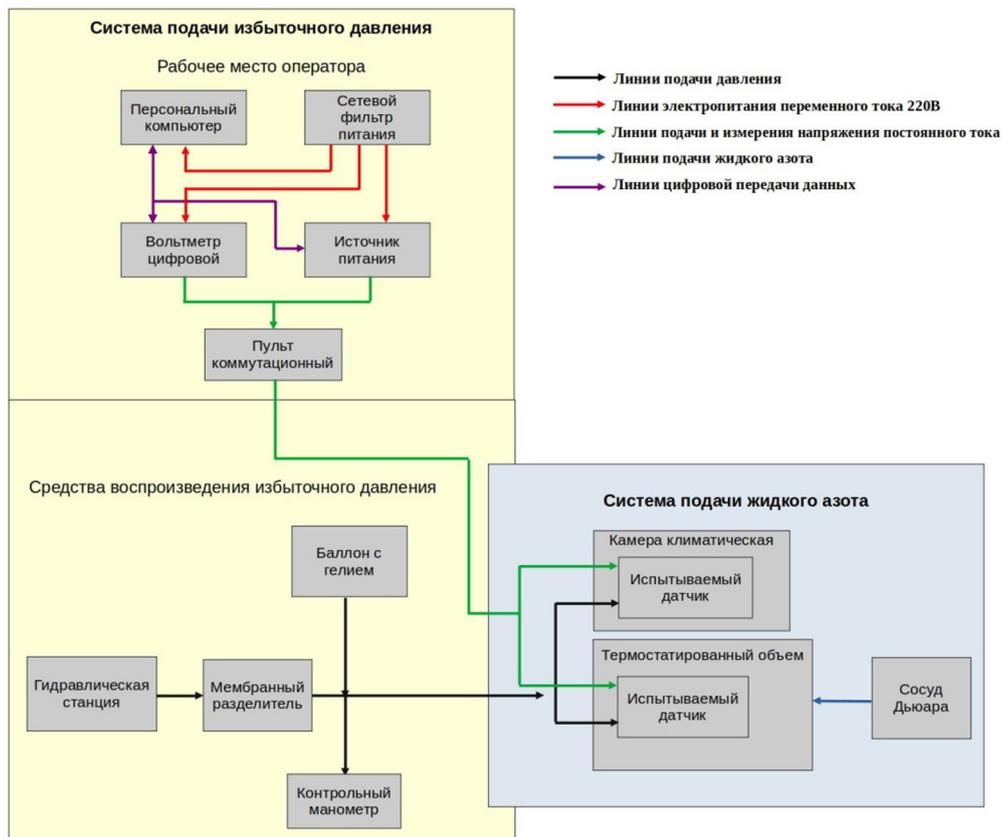


Рис. 1. Структурная схема исходного стенда высоких давлений

Принцип работы модернизированного стенда состоит в следующем: приспособление с подключенными к нему датчиками помещается в емкость и подключается к штуцеру трубопровода избыточного давления. Разъемы датчиков подключаются к кабелю вольтметра универсального цифрового. Предварительное захлаживание датчиков осуществляется при помощи камеры климатической [5], которая отсутствовала в исходном стенде. При достижении температуры ниже 60 °С камера климатическая отключается, дальнейшее захлаживание осуществляется жидким азотом.

Основным компонентом системы подачи избыточного давления, обеспечивающим сжатие гелия до значения избыточного давления 2000 кг/см², является мембранный разделитель. Принцип действия системы подачи избыточного давления заключается в сжатии гелия, которым заполнен трубопровод системы подачи избыточного давления и рабочий объем мембранного разделителя, путем перемещения мембраны мембранного разделителя под воздействием избыточного давления гидравлической жидкости, нагнетаемого гидравлической станцией [6]. Контроль текущего значения избыточного давления осуществляется при помощи цифрового манометра, установленного в магистрали избыточного давления, заполненной гелием [7].

Автоматизация стенда направлена на сокращение времени регистрации аналоговых выходных сигналов в процессе проведения испытаний, повышение точности и достоверности воспроизведения температуры, оптимизацию расхода жидкого азота для воспроизведения требуемых значений температуры [8].

Для решения задач автоматизации стенда разработано специализированное программное обеспечение. Программное обеспечение стенда обеспечивает управление средствами измерений, входящими в состав стенда, регистрацию измеренных выходных сигналов испытываемых датчиков, регистрацию параметров стенда в процессе проведения испытаний, диагностику работы стенда в процессе его эксплуатации [9, 10].

В рамках работы по совершенствованию систем стенда конструкция системы подачи избыточного давления переработана с учетом современных технологий, позволяющих обеспечить выполнение требуемых функций с учетом выполнения требований по безопасности персонала, требований эргономики и уменьшения габаритных размеров стенда, что привело к повышению максимального значения задаваемого давления.

С целью защиты оператора, стенда и испытываемых датчиков от повреждений вследствие разрушения элементов трубопровода предусмотрены все элементы с учетом устойчивости к превышению давления до значений более 3500 кг/см² [11].

С целью обеспечения выполнения требований надежности конструкция стенда включает в себя средства диагностирования и контроля работоспособности.

С учетом совершенствования структурная схема стенда принимает вид, представленный на рис. 2, 3.

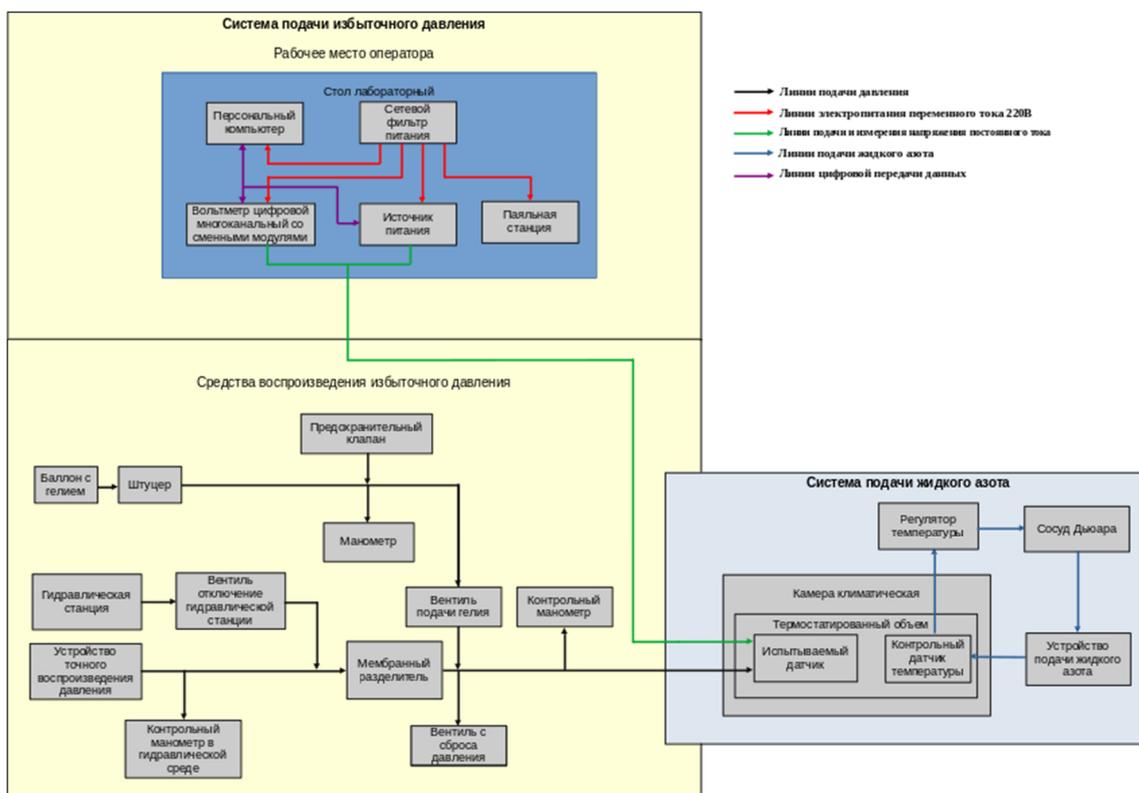


Рис. 2. Структурная схема усовершенствованного стенда высоких давлений



Рис. 3. Внешний вид усовершенствованного стенда высоких давлений

В процессе совершенствования системы стенда высоких давлений достигнуты следующие результаты:

- увеличение диапазона воспроизводимых значений избыточного давления до 2000 кг/см² за счет мембранного разделителя и дополнительного сжатия гелия;
- обеспечение подачи избыточного давления на ДПА при одновременном воздействии пониженных температур до минус 196 °С за счет модернизации системы с одновременной подачей избыточного давления и жидкого азота;
- за счет внедрения в данный стенд разработанного программного обеспечения достигнуты: автоматизированное управление подачей жидкого азота; обеспечение возможности автоматизированной регистрации выходных сигналов испытываемой ДПА; сокращение трудоемкости выполнения операций настройки, испытаний;
- обеспечение возможности электрического подключения испытываемых и контрольных датчиков, имеющих различные присоединительные размеры, посредством измерительных кабелей, технологических кабельных перемычек;
- повышение достоверности результатов испытаний ДПА, продление ресурса работы стенда за счет уменьшения погрешности высокоточного измерительного оборудования и совершенствования электронно-компонентной базы;
- повышение безопасности персонала за счет изменения конструкции и повышения предела прочности арматуры системы подачи давления и азота до 3500 кг/см²;
- уменьшение габаритных размеров стенда за счет применения современных материалов.

Реализованные решения в целях совершенствования системы подачи избыточного давления и вновь разработанная конструкция стенда решают актуальные задачи создания датчиков-преобразующей аппаратуры для измерения давлений в жестких условиях, характерных для эксплуатации изделий ракетно-космической техники.

Автоматизация стенда позволила сократить время регистрации аналоговых выходных сигналов при проведении испытаний на несколько часов в день, а также повысить точность измерения избыточного давления с 1,5 до 1,2 % за счет использования высокоточного цифрового регистрирующего оборудования и оптимизации процесса расхода жидкого азота для воспроизведения требуемых значений температуры.

Список литературы

1. Бастрыгин К. И., Трофимов А. А. Система измерения, мониторинга, контроля и диагностики параметров ракетного двигателя // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 3. С. 18–25.
2. ЭЛЕМЕР-СГП-1000 // Элемер. URL: <https://www.elemer.ru/catalog/metrologicheskoe-oborudovanie/zadatchiki-davleniya-pompy-pressy-kompressory/elemer-sgp-1000/?ysclid=li1kw36p917893-52104>
3. Манометры грузопоршневые «МП» // Альфапаскаль. URL: <https://alfapascal.ru/products/mp>
4. Устройства создания высокого давления УСД-2500, УСД-4000, УСД-7000 // Альфапаскаль. URL: <https://alfapascal.ru/products/usd?ysclid=li1kaja9q8824803267>
5. Настольная бесшумная камера холода и тепла SBT-291 // CryoTech. URL: <https://cryo-tech.ru/products/sb/sbt-291>.
6. Мини-маслостанция сверхвысокого давления МГС 2500-0.08П-Р-1 с пультом // МонтажКомплект. URL: <http://nasos-mgs.ru/product/maslostancii-mgs-2500-008p-r-1.html>
7. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры цифровые прецизионные ДМ5002М// Манотомь. URL: <https://www.manotom.com/catalog/elektronnye/manometrytsifrovye/el/pretsiz-ionnyu-tsifrovoy-manometrdm5002m/?ysclid=li1kjujsr664657412>
8. ДТСхх4 термосопротивления с кабельным выводом//Овен. Оборудование для автоматизации. URL: https://owen.ru/product/dtshh4_termosoprotivleniya_s_kabel_nim_vivodom
9. ТРМ201 регулятор с универсальным входом и RS-485 // Овен. Оборудование для автоматизации. URL: <https://owen.ru/product/trm201>
10. Виноградова Н. А., Листратов Я. И., Свиридов Е. В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде Lab-VIEW : учеб. пособие. М. : Изд-во МЭИ, 2015. С. 240.
11. ООО «ЦирлокРус». URL: <https://cir-lok.ru>

References

1. Bastygin K.I., Trofimov A.A. System of measurement, monitoring, control and diagnostics of rocket engine parameters. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2017;(3):18–25. (In Russ.)

2. ELEMER-SGP-1000. *Elemer*. (In Russ.). Available at: <https://www.elemer.ru/catalog/metrologicheskoe-oborudovanie/zadatchiki-davleniya-pompy-pressy-kompressory/elemer-sgp-1000/?ysclid=li1kw36p917893-52104>
3. MP cargo piston pressure gauges. *Al'fapaskal' = Alfapascal*. (In Russ.). Available at: <https://alfapascal.ru/products/mp>
4. High-pressure devices USD-2500, USD-4000, USD-7000. *Al'fapaskal' = Alfapascal*. (In Russ.). Available at: <https://alfapascal.ru/products/usd?ysclid=li1kaja9q8824803267>
5. Desktop silent cold and heat chamber SBT-291. *CryoTech*. (In Russ.). Available at: <https://cryotech.ru/products/sb/sbt-291>
6. Ultrahigh pressure mini oil station MGS 2500-0.08P-R-1 with remote control. *MontazhKomplekt*. (In Russ.). Available at: <http://nasos-mgs.ru/product/maslostancii-mgs-2500-008p-r-1.html>
7. Pressure gauges, vacuum meters, manovacuummeters, digital precision DM5002M. *Manotom' = Pressure gauge*. (In Russ.). Available at: <https://www.manotom.com/catalog/elektronnye/manometrytsifrovye/el/pretsiz-ionnyu-tsifrovoy-manometr5002m/?ysclid=li1kjujsr664657412>
8. DTXX4 thermal resistance with cable outlet. *Oven. Oborudovanie dlya avtomatizatsii = Aries. Automation equipment*. (In Russ.). Available at: https://owen.ru/product/dtshh4_termosoprotivleniya_s_kabel_nim_vivodom
9. TRM201 controller with universal input and RS-485. *Oven. Oborudovanie dlya avtomatizatsii = Aries. Automation equipment*. (In Russ.). Available at: <https://owen.ru/product/trm201>
10. Vinogradova N.A., Listratov Ya.I., Sviridov E.V. *Razrabotka prikladnogo programmogo obespecheniya v srede Lab-VIEW: ucheb. posobie = Development of applied software in the LabVIEW environment : textbook*. Moscow: Izd-vo MEI, 2015:240. (In Russ.)
11. *ООО «TsirlokRus» = CirlokRus LLC*. (In Russ.). Available at: <https://cir-lok.ru>

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Евгеньевич Горшенин

ведущий инженер,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: gpe2014@yandex.ru

Pavel E. Gorshenin

Lead engineer,
Scientific Research Institute of Physical Measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Татьяна Валерьевна Горшенина

главный специалист,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: tatiana/3113@mail.ru

Tatyana V. Gorshenina

Main expert,
Scientific Research Institute of Physical Measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Дмитрий Валентинович Попченков

начальник группы,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: popchenkov79@mail.ru

Dmitry V. Popchenkov

Head of the group,
Scientific Research Institute of Physical Measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 05.11.2024

Поступила после рецензирования / Revised 27.11.2024

Принята к публикации / Accepted 16.12.2024