

# **В Е С Т Н И К**

**ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 1 (95)  
2026**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**Луганск 2026**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

**№ 1 (95) 2026**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ  
ВХОДИТ В БАЗУ  
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

ФГБОУ ВО

«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

# VESTNIK

LUGANSK  
VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY

**№ 1 (95) 2026**

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 2015  
INCLUDED INTO THE BASE OF  
RISC

FOUNDER

LSU NAMED AFTER V. DAHL

Сборник входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

**ISSN 2522-4905**

## Главная редакционная коллегия :

Рябичев В.Д., докт. техн. наук, (главный редактор),  
Киреев А.Н., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),  
Авершин А.А., канд. психол. наук,  
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,  
Атоян А.И., докт. филос. наук,  
Бельдюгин В.А., канд. ист. наук,  
Болдырев К.А., докт. экон. наук,  
Витренко В.А., докт. техн. наук,  
Губачева Л.А., докт. техн. наук,  
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,  
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,  
Ерошин С.С., докт. техн. наук,  
Замота Т.Н., докт. техн. наук,  
Исаев В.Д., докт. филос. наук,  
Клименко А.С., докт. филол. наук,  
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,  
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,  
Корсунов К.А., докт. техн. наук,  
Лустенко А.Ю., докт. филос. наук,  
Ляпин В.П., докт. биол. наук,  
Максимова Т.С., докт. экон. наук,

Максимов В.В., докт. экон. наук,  
Мечетный Ю.Н., докт. мед. наук,  
Мирошников В.В., докт. техн. наук,  
Мортиков В.В., докт. экон. наук,  
Панайотов К.К., канд. техн. наук,  
Родионов А.В., докт. экон. наук,  
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,  
Салита С.В., докт. экон. наук,  
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,  
Свиридова Н.Д., докт. экон. наук,  
Семин Д.А., докт. техн. наук,  
Скляр П.П., докт. психол. наук,  
Тарарычкін І.А., докт. техн. наук,  
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,  
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,  
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,  
Харьковский Р.Г., канд. ист. наук,  
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,  
Шелото В.М., докт. филос. наук,  
Яковенко В.В., докт. техн. наук

**Рекомендовано в печать** Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
(Протокол № 10 от 27.03.2026 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

УДК 629.7.018.4

## О РЕГУЛИРОВАНИИ ДАВЛЕНИЯ В ПЕРВОЙ СТУПЕНИ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЫ АРК-1500

Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Бухаров И. В., Гойдо М. Е.

## ABOUT REGULATION OF THE PRESSURE IN THE FIRST-STAGE OF THE AIR SUPPLY SYSTEM OF THE ACOUSTIC REVERBERATION CHAMBER ARC-1500

Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Bukharov I. V., Goydo M. E.

**Аннотация.** Приведена информация о разработанной и изготовленной в ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск) системе воздухообеспечения (СВС) для акустической реверберационной камеры АРК-1500, созданной в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева». Основное внимание уделено подсистеме регулирования давления первой ступени СВС, предназначенной для автоматического поддержания заданного значения давления (из диапазона от 0,4 до 1 МПа) в коллекторе низкого давления, расположенном за устройством понижения (редуцирования) давления воздуха, поступающего при давлении от 25 до 1,5 МПа из баллонов высокого давления. Моделирование подсистемы регулирования давления первой ступени СВС позволило выработать рекомендации, направленные на повышение качества работы этой системы.

**Ключевые слова:** акустическая реверберационная камера, система воздухообеспечения, регулирование давления, моделирование.

**Abstract.** This article presents information on the air supply system (ASS) developed and manufactured by Ural Engineering Center LLC (Chelyabinsk) for the acoustic reverberation chamber ARC-1500, created by M.F. Reshetnev Information Satellite Systems JSC. The paper focuses on the first-stage pressure control subsystem of the SAS, designed to automatically maintain a set pressure value (from 0.4 to 1 MPa) in the low-pressure manifold located downstream of the pressure reduction device for air coming at a pressure of 25 to 5 MPa from high-pressure cylinders. Modeling the first-stage pressure control subsystem of the ASS made it possible to develop recommendations aimed at improving the performance of this system.

**Key words:** acoustic reverberation chamber, air supply system, pressure control, modeling.

**Введение.** Акустическая реверберационная камера АРК-1500, созданная в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» предназначена для исследования прочностных и усталостных характеристик авиационно-космических конструкций под воздействием акустических нагрузок в широком диапазоне частот (от 20 до 8000 Гц) с регулируемой спектральной плотностью звукового давления. Поле звуковых давлений создается с помощью системы генерации звука, связанной с камерой через рупоры [1-3].

По своим вместимости (1493,8 м<sup>3</sup>) и уровню звукового воздействия (до 152 дБ) установка АРК-1500 находится на уровне лучших мировых образцов существующих установок подобного назначения [4-8].

В 2018 г. ООО «Уральский инжиниринговый центр» было поручено спроектировать, изготовить, выполнить монтаж и провести пуско-наладочные работы системы воздухообеспечения (СВС) для АРК-1500. Система воздухообеспечения предназначена для накопления и последующей подачи сжатого воздуха

с требуемыми параметрами к четырём генераторам звука и далее к рупорам камеры АРК-1500 (на выходе подсистемы поддержания давления второй ступени и, соответственно, на входе в генераторы звука давление воздуха должно находиться в пределах от 0,2 до 0,3 МПа, а температура воздуха – на уровне 20±10 °С).

**Принятые технические решения.** В соответствии с техническим заданием на поставку СВС оборудование данной системы (рис. 1) размещается в помещении генераторов звука и рупоров камеры (рис. 2) за исключением подсистемы накопления и подачи сжатого воздуха, которая располагается на верхнем перекрытии бокса АРК-1500.

Для обеспечения необходимой продолжительности проведения акустических испытаний подсистема накопления и подачи сжатого воздуха содержит в своем составе двенадцать газовых баллонов высокого давления, каждый из которых имеет вместимость 2,403 м<sup>3</sup> (рис. 3). Зарядка баллонов воздухом осуществляется посредством компрессорной станции вплоть до

давления 25 МПа. При максимальном давлении 25 МПа суммарная масса сжатого воздуха в баллонах составляет порядка 8327 кг. Комплект вышеуказанных баллонов позволяет проводить акустические испытания при максимальном

массовом расходе воздуха 7 кг/с при понижении давления  $p_{\text{бал}}$  в баллонах вплоть до значения 1,5 МПа.



Рис. 1. Структурная схема системы воздухообеспечения



Рис. 2. Общий вид оборудования системы воздухообеспечения, установленного в помещении генераторов звука и рупоров



Рис. 3. Внешний вид комплекта баллонов высокого давления СВС

Подсистема регулирования давления первой ступени СВС предназначена для автоматического поддержания заданного значения давления воздуха в коллекторе низкого давления в диапазоне от 0,4 до 1 МПа. Первоначально для решения данной задачи был использован газовый редукционный клапан типа RDHFA40 производства фирмы Swagelok Company (США) [9].

В процессе пусконаладочных работ выявилось, что при давлении на входе редукционного клапана, превышающем 2,5 МПа, в коллекторе низкого давления СВС происходят колебания давления. При этом амплитуда данных колебаний может быть

настолько большой, что срабатывает предохранительный клапан, подключенный к коллектору низкого давления.

Для выяснения причин возникновения вышеупомянутых колебаний давления запорно-регулирующий элемент клапана был зафиксирован в некотором положении, обеспечивающем при прочих равных условиях необходимый уровень давления в коллекторе низкого давления. При этом колебания давления в коллекторе отсутствовали. В результате было установлено, что причиной возникновения колебаний давления является неустойчивая работа именно редукционного клапана. Данный вывод был

также подтвержден результатами имитационного моделирования работы клапана в составе СВС.

Поскольку конструкция редукционного клапана типа RDHFA40 не позволяет проводить какие-либо регулировки, кроме давления его настройки, то было принято решение об отказе от применения клапана такой конструкции в составе СВС.

Для замены редукционного клапана разработан и изготовлен двухлинейный пневмораспределитель клапанного типа (по конструкции запорно-регулирующего элемента в соответствии с ГОСТ 17752-81 «Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения») с пропорциональным электрогидравлическим управлением, называемый далее по тексту запорно-регулирующим клапаном (ЗРК) (рис. 4). Запорно-регулирующий элемент ЗРК выполнен с профилированным хвостовиком, имеющим форму, обеспечивающую экспоненциальную зависимость площади проходного сечения ЗРК от перемещения запорно-регулирующего элемента относительно его седла [10].



Рис. 4. Внешний вид запорно-регулирующего клапана по месту его монтажа в составе СВС

Для управления гидроцилиндром привода запорно-регулирующего элемента ЗРК выбран гидрораспределитель с пропорциональным электрическим управлением со встроенной электроникой типа DHZO-TEB-SN-NP-071-L1 производства фирмы ATOS (Италия) [11].

После монтажа ЗРК по месту его эксплуатации в составе СВС для обеспечения поддержания заданного значения давления в коллекторе низкого давления программно реализовано управление ЗРК в виде пропорционально-интегрального регулятора по рассогласованию между заданным  $P_{\text{зад}}$  и

фактическим  $P_k$  значениями давления в указанном коллекторе. Для обеспечения устойчивой работы подсистемы регулирования давления первой ступени СВС экспериментальным путем осуществлена подборка значений пропорционально-интегрального регулятора.

Проверка работы СВС при использовании для редуцирования давления разработанного ЗРК показала, что не на всех режимах работы системы удастся избежать колебаний давления в коллекторе низкого давления. В частности, такие колебания возникают при относительно быстром изменении массового расхода  $M_{\text{вых}}$  воздуха, выходящего из коллектора в направлении акустической реверберационной камеры, что происходит при изменении числа используемых рупоров (их отключении и подключении), и при скачкообразном (ступенчатом) изменении задания на значение

давления  $P_{\text{зад}}$ , которое должно поддерживаться в коллекторе низкого давления. Очевидно, что такие колебания при использовании ЗРК с пропорциональным электрогидравлическим управлением могут быть устранены путем изменения типа и параметров (коэффициентов) программного регулятора, посредством которого формируется сигнал управления на электронный блок управления гидрораспределителя DHZO-TEB-SN-NP-071-L1. Однако, выбор рациональных типа и параметров регулятора опытным путем является трудоемким и дорогостоящим мероприятием, поскольку связан с подзарядкой баллонов подсистемы накопления и подачи сжатого воздуха и большими потерями энергии.

Результаты моделирования. С учетом отмеченного выше обстоятельства с использованием пакета прикладных программ ПРАНС-ПК [12] проведено имитационное моделирование работы подсистемы регулирования давления первой ступени СВС с ЗРК. Структурная схема подсистемы регулирования давления первой ступени СВС, принятая при моделировании, приведена на рис. 5.

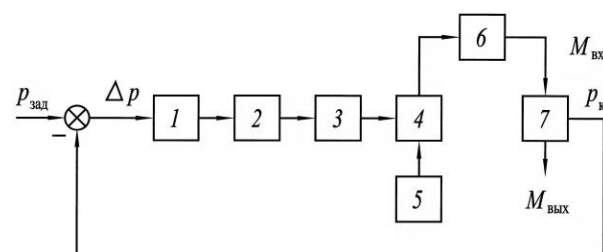


Рис. 5. Структурная схема подсистемы регулирования давления первой ступени СВС, принятая при моделировании:

1 – пропорционально-дифференциальный регулятор; 2 – гидрораспределитель с пропорциональным электрическим управлением; 3 – гидроцилиндр управления ЗРК; 4 – запорно-регулирующий клапан; 5 – источник газа высокого

давления; 6 – гидравлическое сопротивление магистрали от ЗРК до коллектора низкого давления; 7 – коллектор низкого давления;  $p_{\text{зад}}$  – заданное значение давления, которое должно поддерживаться в коллекторе низкого давления;  $p_k$  – текущее значение давления в коллекторе низкого давления;  $M_{\text{вх}}$ ,  $M_{\text{вых}}$  – значения массовых расходов воздуха соответственно на входе и выходе коллектора низкого давления;  $\Delta p = p_{\text{зад}} - p_k$

При проведении моделирования гидрораспределитель DHZO-TEB-SN-NP-071-L1 представлен в виде колебательного звена с амплитудно-фазовой частотной характеристикой, совпадающей с характеристикой гидрораспределителя, представленной в его паспортных данных.

Расчеты с использованием принятой модели подтвердили, что при использовании пропорционально-интегрального регулятора характер переходных процессов по давлению  $p_k$  в коллекторе низкого давления зависит от скорости изменения массового расхода  $M_{\text{вых}}$  воздуха, выходящего из коллектора в направлении акустической реверберационной камеры. Если при относительно небольшой скорости изменения  $M_{\text{вых}}$  процесс изменения  $p_k$  имеет практически апериодический характер, то при прочих равных условиях при превышении этой скоростью некоторого значения переходный процесс по давлению становится колебательным.

В результате моделирования выяснено, что переходные процессы по давлению  $p_k$  в коллекторе низкого давления при любых изменениях заданного значения  $p_{\text{зад}}$  давления в коллекторе и массового расхода  $M_{\text{вых}}$  на выходе коллектора становятся качественными (протекают практически без колебаний) при использовании пропорционально-дифференциального регулятора по рассогласованию  $\Delta p = p_{\text{зад}} - p_k$  (см. рис. 5). В качестве примера на рис. 6, 7 приведены графики изменения давления  $p_k$  для случая использования пропорционально-дифференциального регулятора при разных вариантах изменения значений  $M_{\text{вых}}$  и  $p_{\text{зад}}$  (в том числе и при скачкообразных изменениях  $M_{\text{вых}}$  и  $p_{\text{зад}}$ ).

В процессе моделирования установлены оптимальные значения коэффициентов  $k_p$  и  $k_d$  пропорционально-дифференциального регулятора, которые рекомендованы для использования при проведении дополнительной наладки системы управления СВС.

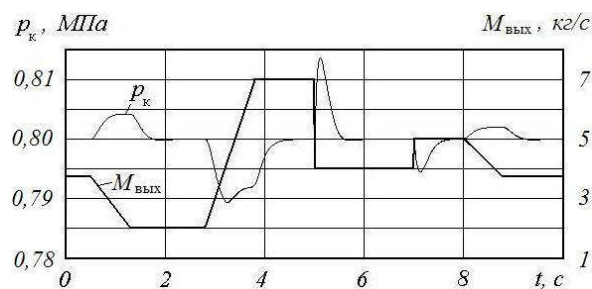


Рис. 6. Расчетный график изменения давления  $p_k$  в коллекторе низкого давления при изменениях массового расхода газа  $M_{\text{вых}}$  в случае использования пропорционально-дифференциального программного регулятора ( $p_{\text{бал}} = 25$  МПа,  $p_{\text{зад}} = 0,8$  МПа)

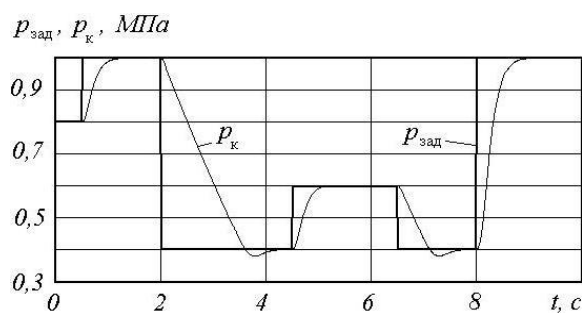


Рис. 7. Расчетный график изменения давления  $p_k$  в коллекторе низкого давления при изменениях значения давления  $p_{\text{зад}}$ , которое должно поддерживаться в коллекторе, в случае использования пропорционально-дифференциального программного регулятора ( $p_{\text{бал}} = 25$  МПа,  $M_{\text{вых}} = 3,74$  кг/с)

**Выводы.** Использование запорно-регулирующего клапана с пропорциональным электрическим управлением вместо редукционного клапана в подсистеме регулирования давления первой ступени СВС АРК-1500 и пропорционально-интегрального программного регулятора по рассогласованию заданного и фактического значений давления в коллекторе низкого давления обеспечивают приемлемое качество поддержания давления в коллекторе.

Имитационное моделирование работы подсистемы регулирования давления первой ступени СВС указывает на перспективность (с точки зрения повышения качества переходных процессов по изменению давления в коллекторе низкого давления) применения для управления запорно-

регулирующим клапаном пропорционально-дифференциального регулятора по рассогласованию заданного и фактического значений давления в коллекторе и позволяет рекомендовать рациональные значения коэффициентов такого регулятора.

#### Список источников

1. Комплекс управления и мониторинга оборудования акустической реверберационной камерой АРК-1500 / К. В. Кондратьев, Д. А. Маринин, В. А. Самойлов, Н. Д. Гребенников // Динамика и виброакустика машин: сб. докладов седьмой международной научно-технической конференции, 04 - 06 сентября 2024 г.; под ред. Е. В. Шахматова. – Самара: издательство Самарского национального исследовательского университета им. С.П. Королева, 2024. – С. 356-358.

2. Пат. RU 2843096 C1 G01M 13/028 (2019/01), F04D 27/00 (2006/01). Способ регулирования и контроля подачи сжатого воздуха в акустическую реверберационную камеру / А.С. Агашкин, Д.А. Маринин; опубл. 07.07.2025. Бюл. № 19.

3. Потапова К.А. Система воздухообеспечения реверберационной акустической камеры объемом 1500 кубических метров / Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 1. Красноярск: издательство ФГБОУВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2022. – Т. 1. – С. 647-649.

4. Бюшгенс Г.С., Дмитриев В.Г. Из книги «О работах ЦАГИ. 1970–2000 годы и перспективы» // Аэромеханика и газовая динамика. – 2001. – № 2. – С. 81-98.

5. Capabilities, design, construction and commissioning of new vibration, acoustic, and electromagnetic capabilities added to the world's largest thermal vacuum chamber at NASA's space power facility / S. M. Motil, D. R. Ludwiczak, G. A. Carek, R. N. Sorge, J. M. Free, H. A. Cikanek III // 62-nd International astronautical congress, october 3–7, 2011, Cape Town, South Africa. – 10 p.

6. Rizzi S.A., Cabell R.H., Allen A.R. Recent enhancements to the NASA Langley structural acoustics loads and transmission (salt) facility // 11-th International conference on recent advances in structural dynamics, july 1–3, 2013, Pisa, Italy. – 18 p.

7. Sorge R.N. Space power facility – capabilities for space environmental testing within a single facility. NASA/TM–2013-217816. Cleveland, Ohio: Glenn Research Center, 2013. – 12 p.

8. Lewis C. C., Dolesh R. J., Garrett M. J. Space power facility reverberation chamber calibration report. NASA/TM–2014-218363. Cleveland, Ohio: Glenn Research Center, 2014. – 51 p.

9. Регуляторы давления. Серия RHPS: каталог MS-02-430RU. – Swagelok Company, 2025. – 60 с.

10. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1969. – 888 с.

11. Digital proportional directional valve high performance, direct, with on-board driver, LVDT transducer and position spool overlap: table FS165-6/E. – 16 p.

12. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / Бажин И.И., Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М. и др.; Под общ. ред. Ермакова С.А. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

#### References

1. Complex for control and monitoring of equipment with the ARC-1500 acoustic reverberation chamber / K. V. Kondratyev, D. A. Marinin, V. A. Samoilov, N. D. Grebennikov // Dynamics and vibroacoustics of machines: collection of papers of the Seventh International Scientific and Technical Conference, September 4-6, 2024; edited by E. V. Shakhmatov. - Samara: Publishing House of Samara National Research University named after S.P. Korolev, 2024. - P. 356-358.

2. Patent. RU 2843096 C1 G01M 13/028 (2019/01), F04D 27/00 (2006/01). Method for regulating and monitoring the supply of compressed air to an acoustic reverberation chamber / A.S. Agashkin, D.A. Marinin; publ. 07.07.2025. Bulletin No. 19.

3. Potapova K.A. Air supply system of a 1500 cubic-meter reverberation acoustic chamber / Actual Problems of Aviation and Cosmonautics: Collection of Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference Dedicated to Cosmonautics Day. In 3 volumes. General editor Yu.Yu. Volume 1. Krasnoyarsk: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev", 2022. – Vol. 1. – Pp. 647-649.

4. Byushgens G.S., Dmitriev V.G. From the book "On the Works of TsAGI. 1970–2000 and Prospects" // Aeromechanics and Gas Dynamics. – 2001. – No. 2. – P. 81–98.

5. Capabilities, design, construction and commissioning of new vibration, acoustic, and electromagnetic capabilities added to the world's largest thermal vacuum chamber at NASA's space power facility / S. M. Motil, D. R. Ludwiczak, G. A. Carek, R. N. Sorge, J. M. Free, H. A. Cikanek III // 62-nd International astronautical congress, october 3-7, 2011, Cape Town, South Africa. – 10 p.

6. Rizzi S.A., Cabell R.H., Allen A.R. Recent enhancements to the NASA Langley structural acoustics loads and transmission (salt) facility // 11-th International conference on recent advances in structural dynamics, july 1–3, 2013, Pisa, Italy. – 18 p.

7. Sorge R.N. Space power facility – capabilities for space environmental testing within a single facility. NASA/TM–2013-217816. Cleveland, Ohio: Glenn Research Center, 2013. – 12 p.

8. Lewis C. C., Dolesh R. J., Garrett M. J. Space power facility reverberation chamber calibration report. NASA/TM-2014-218363. Cleveland, Ohio: Glenn Research Center, 2014. – 51 p.

9. Pressure Regulators. RHPS Series: Catalog MS-02-430RU. – Swagelok Company, 2025. – 60 p.

10. Gurevich, D.F. Calculation and Design of Pipeline Valves. 4th ed., revised and enlarged. – Leningrad: Mashinostroenie, 1969. – 888 p.

11. Digital Proportional Directional Valve High Performance, Direct, with On-Board Driver, LVDT Transducer, and Position Spool Overlap: Table FS165-6/E – 16 p.

12. Automated Design of Mechanical Engineering Hydraulic Drives / Bazhin, I.I., Berenga