УДК 621.513.3 URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/idme/1135.html

МОБИЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ПОДГОТОВКИ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОПРОВОДОВ

Г.А. Зайцев zaytsevga@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

В настоящее время в связи с удаленностью объектов газотранспортной системы, требуется повысить мобильность используемого при испытаниях оборудования, в частности, создать мобильный комплекс для проведения всех вышеописанных операций. В статье рассмотрены области применения пневматических испытаний газопроводов. Исследован комплекс технологических операций при проведении пневматических испытаний. Изучен опыт применения мобильных компрессорных установок и разработан концепт установки-аналога LMF 67 / 150-D, которая состоит из поршневого и винтового компрессоров, работающих от одного привода, а также дооснащена блоками осушки воздуха и генерации азота. Определены основные требования к осушенному воздуху и азоту, согласно которым выполнен подбор установки короткоцикловой адсорбции, а также газоразделителей для мембранного генератора азота. Определена производительность комплекса по осушенному воздуху и азоту. Разработана технологическая схема комплекса при подключении к испытуемому газопроводу.

Ключевые слова: пневматические испытания газопроводов, подготовка газопроводов к эксплуатации, мобильная компрессорная установка, поршневой компрессор, винтовой компрессор, блок осушки воздуха, блок генерации азота

Введение. В рамках расширения газотранспортной системы по программе газификации России, а также в связи с возрастающей стратегической важности магистральных газопроводов немаловажное значение имеют проведение испытаний и подготовка газопроводов к эксплуатации. При отсутствии водозаборов, прохождении трассы через вечномерзлые грунты, низких температурах окружающей среды (что особенно актуально в условиях развития Арктики) осуществляются пневматические испытания [1]. Помимо самих испытаний проводятся очистка и осушка полости газопровода для исключения гидратообразования и обеспечения необходимого качества транспортируемого газа, а также заполнение газопровода азотом для предотвращения образования взрывоопасной газовоздушной смеси при вводе объекта в эксплуатацию [2, 3]. Поскольку объекты газотранспортной системы расположены на значительном удалении, необходимо обеспечить мобильность используемого при испытаниях оборудования, в частности, разработать мобильный комплекс для проведения всех вышеописанных операций [1].

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

Материалы и методы. В настоящее время в России и за рубежом производятся различные передвижные азотно-компрессорные и воздушные компрессорные станции. Примерами таких станций служат СДА-10/251 (ООО «ТЕГАС ОПЕРЭЙТ») [4, 5], ПМКС-600/25 (ООО «ЗКО „Агора“»), СД-18/101 (ООО «ЗКО „Агора“») [6]. Одной из наиболее универсальных и высокопроизводительных (67 нм3/мин) передвижных станций с высоким давлением воздуха на выходе (до 15 МПа) является LMF 67/150-D (Leobersdorfer Maschinenfabrik AG, Австрия). Универсальность станции обеспечивается «компаундной» схемой, в рамках которой винтовой компрессор низкого давления и поршневой бустер-компрессор приводятся в действие одним дизельным двигателем. Винтовой компрессор компримирует воздух от атмосферного давления до 1,5 МПа, а поршневой компрессор способен дожимать получаемый воздух до 15 МПа. Бустер-компрессор можно исключать из работы станции путем отсоединения соответствующей полумуфты, что позволяет экономить ресурс агрегата в тех технологических операциях, где давление воздуха выше 1,5 МПа не требуется. Предлагаемый мобильный технологический комплекс для пневматических испытаний и подготовки к эксплуатации газопроводов представляет собой аналог вышеописанной станции, дооснащенный блоками осушки сжатого воздуха и генерации азота.

Блок осушки воздуха осушает воздух, сжатый винтовым компрессором, для продувки (в том числе, с пропуском пенополиуретановых поршней) и осушки внутренней полости газопровода с целью обеспечить требуемую температуру точки росы (не выше –20 °С при атмосферном давлении) [2]. Блок генерации азота генерирует азот из осушенного в блоке осушки воздуха для заполнения внутренней полости газопровода азотом до требуемой концентрации (не ниже 98 %) [2].

Для продувки и осушки газопровода с температурой окружающей среды (грунта) не ниже –12 °С необходимо осушить сжатый (1,5 МПа) воздух до температуры точки росы при атмосферном давлении –40 °С [7]. Наиболее мобильным вариантом, обеспечивающим данную температуру точки росы, служит установка короткоцикловой адсорбции [8]. В пересчете на температуру воздуха 35 °С, давление 0,7 МПа и температуру точки росы –40 °С производительность установки должна составлять не менее 37 м^3/мин. Выбрана наиболее подходящая под требуемые параметры установка серийного производства — А-720С (ООО «АГС») с рабочим давлением 1,6 МПа и производительностью 40 м^3/мин [9].

В данной установке часть осушенного воздуха дросселируется до атмосферного давления и отбирается на регенерацию адсорбента. Для приблизительной оценки доли потока, отбираемой на регенерацию, использована *I*–*d*-диаграмма влажного воздуха (рис. 1) [10].

 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

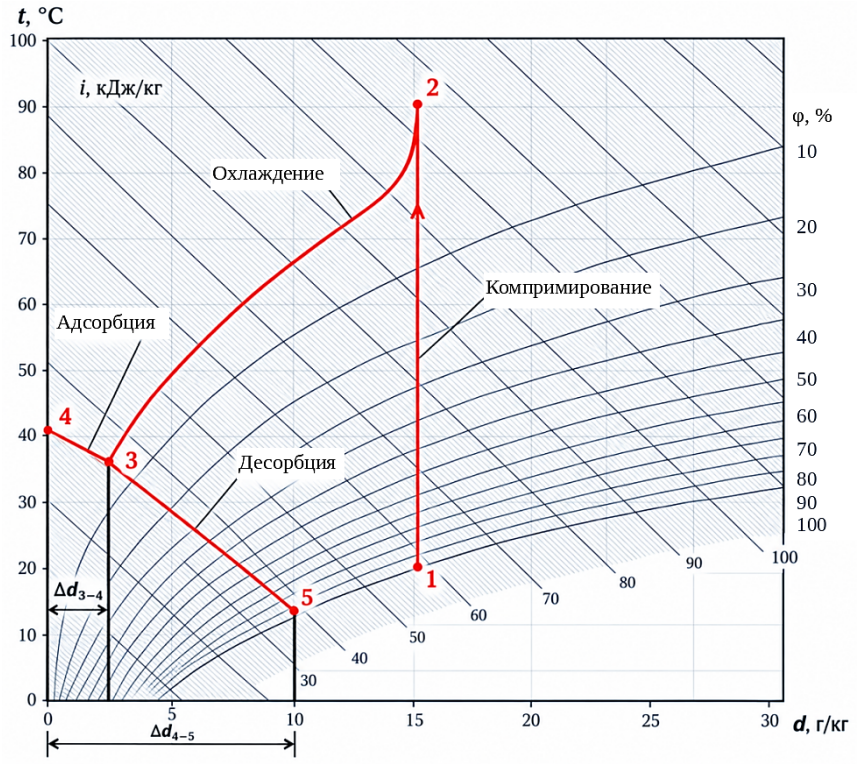


Рис. 1. Процесс осушки воздуха на *I*–*d*-диаграмме

Доля потока на регенерацию адсорбента определяется по формуле

$$\frac{G_{\text{рег}}}{G_{\text{компр}}} = \frac{\Delta d_{3-4}}{\Delta d_{4-5}},$$

где $G_{\text{рег}}$ — массовый расход воздуха на регенерацию адсорбента, кг/мин; $G_{\text{компр}}$ — массовый расход воздуха на входе в установку осушки, кг/мин; Δd_{3-4} — изменение влагосодержания воздуха в процессе адсорбции, кг/кг; Δd_{4-5} — изменение влагосодержания воздуха в процессе десорбции, кг/кг.

Из соотношения проекций участков 3–4 (адсорбция) и 4–5 (десорбция) на ось абсцисс (влагосодержание) искомая доля потока приблизительно равна 25 %. Таким образом, производительность установки по осушенному воздуху составляет около 50 нм^3/мин.

Для продувки и заполнения газопровода азотом до избыточного давления 0,02 МПа и концентрации не менее 98 % выбран мембранный генератор. Данный тип генератора обеспечивает указанную концентрацию азота, при

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

этом обладает небольшими размерами и массой. Подходящим под требуемые параметры газоразделителем является PA6050 N1 (Air Products, США) с производительностью по входу 2,05 нм^3/мин и выходу 0,64 нм^3/мин, степенью чистоты генерируемого азота 98 % и рабочим давлением 1,5 МПа. Для мембранного генератора предлагаемого комплекса требуется 25 вышеописанных газоразделителей. Таким образом, производительность установки по азоту составляет 16 нм^3/мин.

Технологическая схема предлагаемого комплекса представлена на рис. 2.

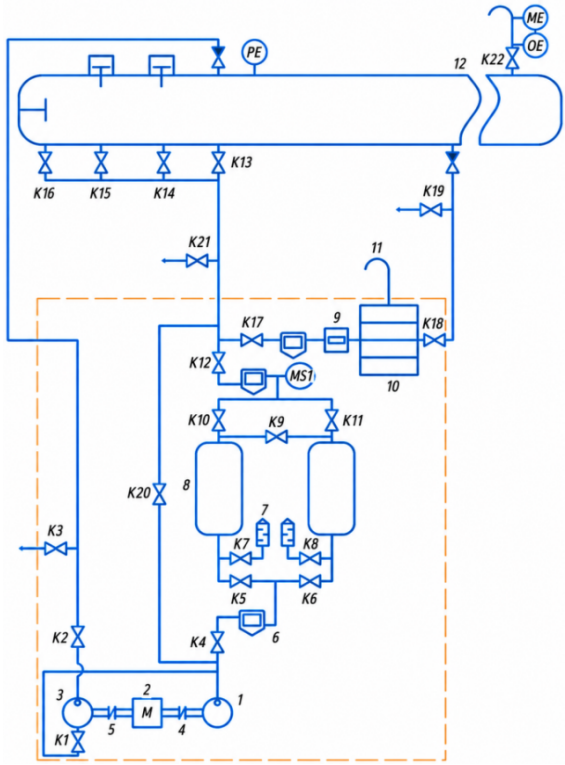


Рис. 2. Технологическая схема мобильного комплекса для пневматических испытаний и подготовки к эксплуатации газопроводов:

1 — винтовой компрессор; *2* — дизельный двигатель; *3* — поршневой компрессор; *4* — эластичная муфта; *5* — управляемая муфта; *6* — фильтр; *7* — глушитель; *8* — адсорбер; *9* — подогреватель; *10* — блок мембранных модулей; *11* — вывод пермеата; *12* — испытуемый участок газопровода; *K1…K21* — краны

Заключение. Разработан концепт мобильного технологического комплекса, позволяющего сократить количество используемого транспорта, оборудования и персонала при проведении пневматических испытаний и подго-

товки к эксплуатации газопроводов. Один комплекс позволяет испытывать и подготавливать к вводу в эксплуатацию газопроводы с условным диаметром 800 мм и рабочим давлением до 11,8 МПа.

Литература

[1] Дубинский В.Г., Егоров И.Ф., Лопатин А.С. и др. *Теория и практика испытаний на прочность и ввода в действие газопроводов*. Москва, МАКС Пресс, 2015, 574 с.

[2] СТО Газпром 2-3.5-354–2009. *Порядок проведения испытаний магистральных газопроводов в различных природно-климатических условиях: издание официальное*. Утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «Газпром» от 11.06.2009 № 157. Дата введения 26.02.2010. Москва, ООО «Газпром Экспо», 2009, 93 с.

[3] СП 411.1325800.2018. *Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Испытания перед сдачей построенных объектов*. Утвержден и введен в действие приказом Минстроя России от 04.09.2018 № 556/пр. Дата введения 05.03.2019. Москва, Стандартинформ, 2018, 46 с.

[4] *ООО «Краснодарский Компрессорный Завод»*. URL: https://kkzav.ru/ (дата обращения 01.06.2025).

[5] *ООО «ТЕГАС ОПЕРЭЙТ»*. URL: https://tegaz.ru/ (дата обращения 01.06.2025).

[6] *ООО «Завод компрессорного оборудования «Агора»*. URL: https://zavodagora.ru/ (дата обращения 01.06.2025).

[7] Ширяпов Д.И. Термодинамика пневматических испытаний газопроводов. *Территория НЕФТЕГАЗ*, 2011, № 3, с. 82–88.

[8] Кельцев Н.В. *Основы адсорбционной техники*. Москва, Химия, 1984, 591 с.

[9] *ООО «АГС»*. URL: https://agse.ru/ (дата обращения 01.06.2025).

[10] Аверкин А.Г. *I–d-диаграмма влажного воздуха и ее применение при проектировании технических устройств*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 192 с.

Поступила в редакцию 19.03.2026

Зайцев Глеб Александрович — студент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — В.В. Козлов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Зайцев Г.А. Мобильный технологический комплекс для пневматических испытаний и подготовки к эксплуатации газопроводов. *Политехнический молодежный журнал*, 2026, № 5(106). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/idme/1135.html

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

MOBILE TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR PNEUMATIC TESTING AND PREPARATION FOR OPERATION OF GAS PIPELINES

G.A. Zaitsev zaytsevga@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The application areas of gas pipeline pneumatic testing are considered. A set of process operations during pneumatic testing is investigated. Experience with mobile compressor units is reviewed, and a concept for a unit similar to the LMF 67/150-D is developed. This unit consists of a piston and screw compressor operating from a single drive and is also equipped with air drying and nitrogen generation units. The key requirements for dried air and nitrogen are determined, which were used to select a pressure swing adsorption unit, as well as gas separators for a membrane nitrogen generator. The unit's throughput for dried air and nitrogen is determined. A flow chart for the unit's operation when connected to the tested gas pipeline is developed.

Keywords: gas pipeline pneumatic testing, gas pipeline preparation for operation, mobile compressor unit, piston compressor, screw compressor, air drying unit, nitrogen generation unit

References

[1] Dubinskiy V.G., Egorov I.F., Lopatin A.S. et al. *Teoriya i praktika ispytaniy na prochnost' i vvoda v deystvie gazoprovodov* [Theory and Practice of Strength Testing and Commissioning of Gas Pipelines]. Moscow, MAKS Press Publ., 2015, 574 p. (In Russ.).

[2] STO Gazprom 2-3.5-354–2009. *Poryadok provedeniya ispytaniy magistral'nykh gazoprovodov v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Procedure for Testing Trunk Gas Pipelines under Various Natural and Climatic Conditions]. Moscow, Gazprom expo Publ., 2009, 93 p. (In Russ.).

[3] SP 411.1325800.2018. *Truboprovody magistral'nye i promyslovye dlya nefti i gaza. Ispytaniya pered sdachey postroennykh ob'ektov* [Main and Field Pipelines for Oil and Gas. Tests before Commissioning of Constructed Facilities]. Moscow, Standartinform Publ., 2018, 46 p. (In Russ.).

[4] *OOO "Krasnodarskiy Kompressornyy Zavod"*. Available at: https://kkzav.ru/ (accessed June 1, 2025). (In Russ.).

[5] *OOO "TEGAS OPEREYT"*. Available at: https://tegaz.ru/ (accessed June 1, 2025). (In Russ.).

[6] *OOO Zavod kompressornogo oborudovaniya "Agora"*. Available at: https://zavodagora.ru/ (accessed June 1, 2025). (In Russ.).

[7] Shiryapov D.I. *Termodinamika pnevmaticheskikh ispytaniy gazoprovodov* [Thermodynamics of Pneumatic Testing of Gas Pipelines]. Territoriya NEFTEGAZ, 2011, no. 3, pp. 82–88. (In Russ.).

 © BMSTU, 2026

[8] Kel'tsev N.V. *Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki* [Fundamentals of Adsorption Technology]. Moscow, Khimiya Publ., 1984, 591 p. (In Russ.).

[9] *OOO "AGS"*. Available at: https://agse.ru/ (accessed June 1, 2025). (In Russ.).

[10] Averkin A.G. *I–d-diagramma vlazhnogo vozdukha i ee primenenie pri proektirovanii tekhnicheskikh ustroystv* [I–d Diagram of Moist Air and Its Application in the Design of Technical Devices]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2022, 192 p. (In Russ.).

Received 19.03.2026

Zaitsev G.A. — Student, Department of Vacuum and Compressor Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.V. Kozlov, Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Vacuum and Compressor Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:
Zaitsev G.A. Mobile technological complex for pneumatic testing and preparation for operation of gas pipelines. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2026, no. 5 (106). (In Russ.). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/idme/1135.html

© BMSTU, 2026 ISSN 2541-8009