УДК 622.276.52

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ И ТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

CREATION OF NEW ENERGY-EFFICIENT COMPRESSOR AND TURBINE TECHNOLOGIES FOR PRIORITY AREAS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Сазонов Юрий Апполоньевич
доктор технических наук,
профессор кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
ysaz60@mail.ru

Туманян Хорен Артурович
младший научный сотрудник НИИ физики горных пород,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
horen.tumanyan@mail.ru

Аннотация. Проводимыенаучные исследования ориентированы на приоритеты государственной энергетической политики ипрограммы по импортозамещению. В связи с этимпроведены поисковые научные исследования для создания перспективной и недорогой технологии и техники по приоритетным направлениям добычи нефти и газа.
В лабораториях РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина развернуты научно-исследовательскиеи конструкторские работы по созданию новойэнергетически эффективной турбинной, насосной и компрессорной техники, адаптированной к осложненным условиям добычи углеводородов. Разработана перспективная компрессорная технология с применением эжекторных систем и сетчатых турбин. В ходе исследований разработаны новые научные принципы сжатия газа, работоспособность которых успешно проверена в лабораторных условиях. Новизна полученных научных результатов подкреплена патентами.
Результаты исследований представляют практический интерес, поскольку позволяют вывести на новый уровень эксплуатационные показатели эжекторных систем, с обеспечениемдавления газа на выходе от 20 до 40 МПа. При этом стоимость новой разработанной компрессорной установки может быть в 16 … 20 раз ниже по сравнению с современными компрессорами, при сходных рабочих параметрах.
Разработанная установка включена в Центр коллективного пользования, созданного в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. Работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, номер темы FSZE-2020-0006.

Ключевые слова: добыча нефти и газа, импортозамещение, компрессор, эжектор, турбина.

Sazonov Yuri Appolonevich
Ph. D., Associate Professor of Machinery and Equipment for Oil and Gas Industry,
Gubkin University
ysaz60@mail.ru

Tumanyan Khoren Arturovich
Junior Researcher of Research Institute of Rock Physics,
Gubkin University
horen.tumanyan@mail.ru

Annotation. The ongoing scientific research is focused on the priorities of the state energy policy and import substitution programs. In this regard, exploratory scientific research was carried out to create promising and inexpensive technology and equipment in priority areas of oil and gas production.
In the laboratories of the Gubkin University, research and development work has been launched to create new energy-efficient turbine, pumping and compressor equipment adapted to the complicated conditions of hydrocarbon production. A promising compressor technology has been developed using ejector systems and grid turbines. In the course of research, new scientific principles of gas compression have been developed, the performance of which has been successfully tested in laboratory conditions. The novelty of the obtained scientific results is supported by patents.
The research results are of practical interest, since they allow to bring the performance of ejector systems to a new level, with the gas pressure at the outlet from 20 to 40 MPa. At the same time, the cost of a newly developed compressor unit can be 16–20 times lower compared to modern compressors, with similar operating parameters.
The developed installation is included in the Center for Collective Use, created at the National University of Oil and Gas «Gubkin University». The work is carried out with the financial support of the state represented by the Russian Ministry of Education and Science within the framework of the state task in the field of scientific activity, topic number FSZE-2020-0006.

Keywords: hydrocarbon production, import substitution, compressor, ejector, turbine.

Нефтяная и газовая промышленность занимает львиную долю в структуре топливно-энергетического комплекса РФ. Благодаря реализации целенаправленной политики импортозамещенияв период с 2014 по 2018 годы доля отечественной продукции в закупках вертикально-интегрированных нефтегазовых компаний выросла. Однако, исходя изутвержденного приказа

Минпромторга России от 30.06.2021 г. № 2362 «План мероприятий по импортозамещению в отрасли нефтегазового машиностроения Российской Федерации на период до 2024 года», исогласно статистическим расчетам, доля иностранного оборудования в нефтегазовой отрасли,которое невозможно заменить отечественной продукцией остается все еще на высоком уровне и после осложнения мировой политики в отношение нашей страны, ситуация в отрасли толькообострилась.

Введение санкций привело к ограничению доступа российских компаний к современным иностранным технологиям и оборудованиюдля улучшения нефтегазодобычи, для производства СПГ и реализации шельфовых проектов. В список запрещенного к ввозу в Россию оборудования, включены и компрессоры высокого давления, которые на сегодняшний день используются для реализации современных технологий интенсификации добычи нефти и газа.Вместе с тем применяемые технологии многоступенчатого сжатия отличаются чрезмерно высокой ценой на оборудование, что ставит под сомнение рентабельность реализации многих проектов по разработке месторождений углеводородов с применением компрессорной техники.

Кроме того, в России имеется потенциал энергосбережения, и существуют возможности значительного повышения экономической эффективности проектов в сфере энергетики [1]. Анализ научной информации позволил наметить перспективное направление исследований, применительно к решению актуальных проблем в области нефтяной и газовой промышленности, составляющей основу отечественной энергетики. И это направление связано с созданием компрессорной техники и импульсных турбин, имеющих сетчатую структуру проточных каналов [2]. В связи с этим, развитие работ [3–4] являются весьма актуальными.

На сегодняшний день активно введутся программы импортозамещения в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. Научный коллектив из Губкинского университета уже более 5 лет ведет научно-исследовательскиеи конструкторские работы по созданию новых принципов преобразования энергии в динамических машинах, для создания новой энергетически эффективной турбинной, насосной и компрессорной техники, адаптированной к осложненным условиям добычи углеводородов [5–11].

Объектом проводимых научных исследований является энергоэффективные компрессорные и турбинные технологии, нацеленные на повышение рабочего давления, производительности и энергетической эффективности эжекторных систем.

В рамках исследований разработаны программы и методики физических экспериментов, создан стенд для испытаний новой компрессорной установки, схема которой представлена на рисунке 1. Новизна разработанных технических решений подкреплена патентом на изобретение № 2750833. Технической проблемой, на решение которой направлена эта разработка, является расширение рабочего диапазона регулирования производительности компрессорной установки и повышение её энергетической эффективности.

Компрессорная установка содержит рабочую камеру (1) и эжектор с камерой смешения (2), подключенные к жидкостному насосу (3), перепускной трубопровод (4), всасывающий газовый клапан (5) и нагнетательный газовый клапан (6), которые отделяют полость рабочей камеры (1) от газопровода низкого давления (7) и газопровода высокого давления (8), соответственно. Рабочая камера (1) выполнена в виде газо-жидкостного сепаратора. Камера смешения (2) эжектора сообщается с жидкостным насосом (3) через сопло (9) эжектора. Вход жидкостного насоса (3) гидравлически связан с источником рабочей жидкости (10). Жидкостной насос 3 подключен к электроприводу (11).При этом жидкостный насос может быть как динамического, так и объемного типа. Вход в камеру смешения (2) эжектора связан через перепускной трубопровод (4) с нижней частью газо-жидкостного сепаратора (1). Выход камеры смешения (2) эжектора гидравлически связан с входным каналом (12) турбогенератора (13).

Выходной канал (14) (у турбогенератора (13)) сообщается с источником рабочей жидкости (10). Входной канал (12) оснащен регулируемой задвижкой (15). В верхней части газо-жидкостного сепаратора (1) размещен нагнетательный газовый клапан (6), отделяющий газо-жидкостной сепаратор (1) от газопровода высокого давления (8). Верхняя часть газо-жидкостного сепаратора (1) заполнена газом, а нижняя часть газожидкостного сепаратора (1) заполнена рабочей жидкостью, на рисунке 1 показана граница раздела (16) между газообразной фазой и жидкой фазой. В качестве источника рабочей жидкости (10) может быть использована емкость, через которую постоянно циркулирует рабочая жидкость, как показано на рисунке 1.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что при реализации циклического низкочастотного рабочего процесса, выходное давление газа может сравняться с давлением рабочей жидкости, а параметр соотношения давлений достигает значения 1, и этот результат подтвержден экспериментально при проведении стендовых испытаний новой эжекторной системы в лабораторных условиях [9]. Результаты исследований представляют практический интерес, поскольку позволяют вывести на новый уровень эксплуатационные показатели эжекторных систем высокого давления, с выходным давлением газа от 20 до 40 МПа.

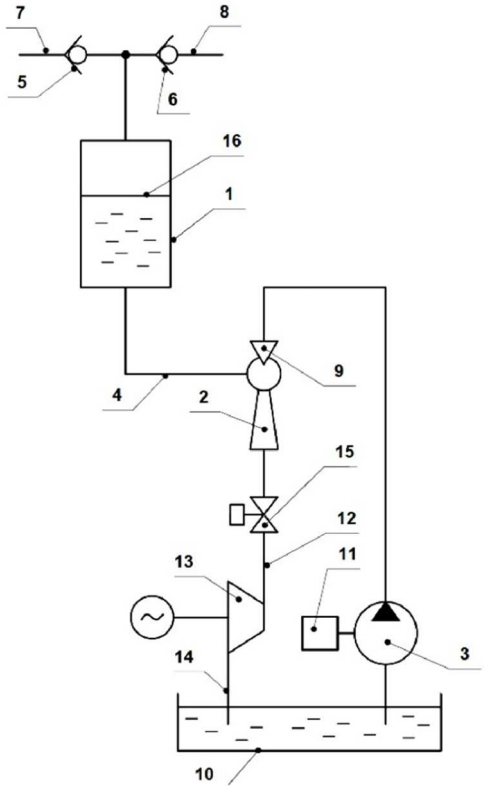

Рисунок 1 – Схема компрессорной установки [3]

В рамках исследовательской работы активно использовались технологии быстрого прототипирования. Прототип сетчатой турбины создан с использованием 3D-моделирования и аддитивных технологий, в соответствии с патентом РФ № 209663 [11]. Запланировано использование подобной турбины в составе компрессорной установки.

Результаты выполненных научных исследований можно считать основой для перспективной технологии, позволяющей осуществлять одноступенчатое изотермическое сжатие газа без ограничений по степени повышения давления. При этом стоимость новой разработанной компрессорной установки может быть в 16 … 20 раз ниже по сравнению с современными компрессорами, при сходных рабочих параметрах.

На основе подобной технологии имеется перспектива развивать и другие отрасли науки и техники, включая газотурбинные установки различного назначения, поскольку известно, что сегодня уже практически полностью исчерпаны научные и технические резервы для дальнейшего усовершенствования известных газотурбинных установок.

Литература:

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.

2. Рехтен А.В. Струйная техника: основы, элементы, схемы. – М. : Машиностроение, 1980. – 237 с.

3. Патент РФ № 2750833. Компрессорная установка // Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Туманян Х.А., Франков М.А., Мун В.А., Балака Н.Н. – Заявка : 2020141542, 16.12.2020. – Опубликовано : 05.07.2021. – Бюл. № 19.

4. Патент № 209663. Двигатель // Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Туманян Х.А., Франков М.А., Воронова В.В., Балака Н.Н. – Заявка : 2021136706, 13.12.2021. – Опубликовано : 17.03.2022. – Бюл. № 8.

5. Разработка эжекторных систем для месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 110–112. – DOI : 10.24887/0028-2448-2017-10-110-112

6. Разработка компрессорных технологий с эжекторами высокого давления для добычи нефти и газа / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 78–82. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-5-78-82

7. Разработка технологий с циклической работой эжектора при добыче нефти и газа / Ю.А. Сазонов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 7. – С. 100–102. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-7-100-102

8. Development of an Automated Compressor Unit for Gas Compression at the Periodic Connection of an Ejector / I.A. Sazonov [et al.] // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2019. – Vol. 16. – № 12. – P. 5378–5383. – Publisher: American Scientific Publishers.

9. Prototyping mesh turbine with the jet control system / I.A. Sazonov [et al.] // PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA. – 2020. – Vol. 17. – № 36. – P. 1160–1175.

10. Development and prototyping of jet systems for advanced turbomachinery with mesh rotor / Yu.A. Sazonov [et al.] // Emerging Science Journal. – 2021. – Vol. 5. – № 5. – P. 775–801. – DOI : 10.28991/esj-2021-01311

11. Prototyping and study of jet systems for developing mesh turbomachines / Yu.A. Sazonov [et al.] // International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.). – 2021. – Vol. 15. – № 7. – P. 335–345. – DOI : 10.15866/ireme.v15i7.21163

References:

1. Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035 // Approved by the order of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020 № 1523-r.

2. Rekhten A.V. Inkjet technology: basics, elements, schemes. – M. : Mashinostroenie, 1980. – 237 p.

3. Patent № 2750833. Compressor unit. // Sazonov Yu.A., Mokhov M.A., Tumanyan Kh.A., Frankov M.A., Mun V.A., Balaka N.N. // Application for the invention № 2020141542. – The date of filing of the application: 16.12.2020. – Published: 05/07/2021. – Bul. № 19.

4. Patent № 209663. Engine. // Sazonov Yu.A., Mokhov M.A., Tumanyan Kh.A., Frankov M.A., Voronova V.V., Balaka N.N. // Application for the invention № 2021136706. – The date of filing of the application: 13.12.2021. – Published: 17/03/2022. – Bul. № 8.

5. Development of ejector systems for fields with hard-to-recover and unconventional hydrocarbon reserves / Yu.A. Sazonov [et al.] // Oil Industry. – 2017. – № 10. – P. 110–112. – DOI : 10.24887/0028-2448-2017-10-110-112

6. Development of compressor technologies with high pressure ejectors for oil and gas production / Yu.A. Sazonov [et al.] // Oil industry. – 2018. – № 5. – P. 78–82. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-5-78-82

7. Development of technologies with cyclic operation of the ejector in the production of oil and gas / Yu.A. Sazonov [et al.] // Oil industry. – 2018. – № 7. – P. 100–102. – DOI : 10.24887/0028-2448-2018-7-100-102

8. Development of an Automated Compressor Unit for Gas Compression at the Periodic Connection of an Ejector / I.A. Sazonov [et al.] // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. – 2019. – Vol. 16. – № 12. – P. 5378–5383. – Publisher: American Scientific Publishers.

9. Prototyping mesh turbine with the jet control system / I.A. Sazonov [et al.] // PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA. – 2020. – Vol. 17. – № 36. – P. 1160–1175.

10. Development and prototyping of jet systems for advanced turbomachinery with mesh rotor / Yu.A. Sazonov [et al.] // Emerging Science Journal. – 2021. – Vol. 5. – № 5. – P. 775–801. – DOI : 10.28991/esj-2021-01311

11. Prototyping and study of jet systems for developing mesh turbomachines / Yu.A. Sazonov [et al.] // International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.). – 2021. – Vol. 15. – № 7. – P. 335–345. – DOI : 10.15866/ireme.v15i7.21163