

УДК 621.51

АО «НИИТУРБОКОМПРЕССОР ИМ. В.Б. ШНЕППА»: ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕМОНТЕ ИМПОРТНОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сарманаева А.Ф.¹, Соколов Н.В.¹, Коршунов М.В.¹, Давлетшин И.С.¹,
Ахметзянов А.М.^{1,2}, Ибрагимов Е.Р.², Шайхутдинов И.Р.¹

АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС, г. Казань, Россия¹
Бизнес-единица «ГМС Компрессоры», г. Москва, Россия²

Аннотация: В России эксплуатируются достаточно большое количество компрессоров иностранных фирм, значительная доля которых имеет большую наработку и требует ремонта или модернизации при длительной амортизации. Вследствие отсутствия запасных частей или длительных сроков их поставки из-за современной сложной логистики эксплуатирующие зарубежную продукцию организации часто сталкиваются с проблемой поддержания оборудования в работоспособном и эффективном состоянии. Самостоятельное изготовление запасных частей проблематично из-за отсутствия у эксплуатирующих организаций конструкторской документации или при ее наличии несоответствии документации системе стандартизации и применяемым технологиям производства. В соответствии с этим одним из направлений деятельности АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» становится полнокомплектное импортозамещение компрессорных агрегатов иностранного компрессорного оборудования посредством технологии обратного инжиниринга. При этом делается упор на возможность изготовления собственного компрессорного оборудования путем постепенной замены иностранного на отечественные разработки.

Ключевые слова: обратный инжиниринг, компрессор, замена оборудования, комплексный подход, центробежный компрессор Baker Hughes и Solar, турбодетандер Rotoflow, винтовой компрессор Aerzen

JSC NIITURBOKOMPRESSOR N.A. V.B. SCHNEPP: REVERSE ENGINEERING FOR MODERNISATION AND REPAIR OF IMPORTED COMPRESSOR EQUIPMENT

Albina F. Sarmanaeva¹, Nikolay V. Sokolov¹, Maxim V. Korshunov¹, Ildar S. Davletshin¹, Albert M. Akhmetzyanov^{1,2}, Evgeny R. Ibragimov², Ilshat R. Shaykhutdinov¹

JSC NIIturbokompressor n.a. V.B. Shnepp, HMS Group, Kazan, Russia¹
HMS Compressors, Moscow, Russia²

Аннотация: Russia operates a large number of compressors from foreign companies, the significant number of which have a long service life and require repair or modernisation with long depreciation. Due to the lack of spare parts or long delivery times as a result of modern complex logistics, organisations operating foreign products often face the problem of maintaining the equipment in a serviceable and efficient condition. Independent manufacture of spare parts is complicated due to the lack of design documentation at the operating organisations or, if it is available, due to non-compliance of the documentation with the standardisation system and applied production technologies. Accordingly, one of the activities of JSC NIIturbokompressor n.a. V.B. Shnepp becomes the complete import substitution of compressor units for foreign compressor equipment by means of reverse engineering technology. At the same time, it focuses on the possibility of manufacturing of own compressor equipment by gradual replacement of foreign equipment by domestic developments.

Keywords: reverse engineering, compressor, equipment replacement, integrated approach, Baker Hughes and Solar centrifugal compressor, Rotoflow turboexpander, Aerzen screw compressor

ВВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION)

Одним из основных направлений деятельности АО «НИИтурбокомпрессор им.В.Б.Шнеппа» (Группа ГМС) за последние годы является предоставление услуг обратного инжиниринга [1-3]. Основной задачей, поставленной перед специалистами при проведении обратного инжиниринга, является изготовление полноценного аналога технического изделия с заменой вышедших из строя узлов или его улучшенной версии. Для этого в том числе разрабатываются и изготавливаются запасные части для импортных компрессорных агрегатов, не уступающих по качеству и надежности оригинальным запасным частям. Замена импортного оборудования в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» (далее АО НТК) основывается на накопленном многолетнем опыте по проектированию, вводе в эксплуатацию и обслуживанию компрессорного оборудования [4, 5]. Новые технические решения, перед применением в конструкции компрессорного агрегата, проверяются в процессе проведения НИОКР на собственных научно-исследовательских стендах. Накопленный на практике технический материал позволяет проводить анализ различных режимов работы импортных компрессорных агрегатов, а также учитывать при обратном инжиниринге изменение фактических условий эксплуатации и рабочих параметров агрегатов. Только комплексный подход при проведении обратного инжиниринга может гарантировать качество, надежность изготавливаемых запасных частей и обеспечение требуемых эксплуатационных характеристик компрессорных агрегатов. При этом на все запасные части в АО НТК выдается сертификат качества и гарантийные обязательства.

РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)

В процессе проведения обратного инжиниринга импортного компрессорного оборудования могут возникнуть следующие проблемы, которые решаются специалистами АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» совместно с Заказчиком:

1. Сложность предоставления Заказчиком всех необходимых данных в процессе разработки расчетно-конструкторской документации (РКД). Например, на складе Заказчика имеются подшипники скольжения, но отсутствует доступ к замерам посадочных поверхностей или рабочего вала в виду эксплуатации компрессора. Это несет риски возможных отклонений размеров от оригинальных при ранее проведенных ремонтах. В этом случае проводится собственный поверочный расчет узла конструкции компрессора на моделирующих условиях работы программам АО НТК. Для точного замера ответственных поверхностей, например, профиля роторов винтовых компрессоров, высоты и расточки опорной самоустанавливающейся колодки и пр. деталей и узлов компрессоров применяется контрольно-измерительная машина (КИМ) *Zeiss Accura 12/30/10* [2].

2. Большая номенклатура поставщиков и конструктивных исполнений. Каждый завод-производитель длительное время отрабатывает свои конструктивные особенности, технологии и расчетные модели. Это всегда несет риски пропуска технических «мелочей» оборудования, которые в итоге определяют долговечность и работоспособность компрессорного агрегата. В частности, эти риски возрастают, когда обратным инжинирингом компрессорного оборудования занимаются компании, не имеющие опыта в этой области.
3. Сложность подбора материалов, соответствующих температурным и динамическим условиям работы оригинальных конструкций. В этом случае могут быть проведены дополнительные исследования материалов для конкретных условий эксплуатации узлов конструкции или применены зарубежные аналоги, в частности проводится НИР по исследованию материалов совместно с профильной кафедрой ФГБОУ ВО «КНИТУ».
4. Отклонения фактических режимов эксплуатации оригинальных конструкций от нормированных предприятием-изготовителем, что учитывается при проектировании специалистами АО НТК: выдаются предложения по совершенствованию оригинальной конструкции.
5. Сложность совмещения технологий производства АО НТК и оригинальных конструкций, например, крепление рабочего колеса, нанесение высокотемпературного баббитового покрытия на легированную подложку подшипника, упругое или шаровидное основание колодки опорного подшипника, однозначность соединения половин с помощью цилиндрических штифтов и пр. Указанные сложности приводят к совершенствованию технологий производства АО НТК, например, для применения в подшипниках скольжения высокотемпературных баббитов (аналогов *Tegostar 738*) в АО НТК внедрена газопламенная установка.
6. Комплектование датчиками контроля и диагностирования системы автоматики, соответствующих по функционалу оригинальным. В этом случае проводится анализ рынка отечественного измерительного оборудования и подбирается соответствующий аналог датчика или заказывается разработка и поставка датчиков, аналогичных оригинальным, например, датчиков температуры подшипников с двумя чувствительными элементами и пр.
7. Сложность инструментальных замеров ряда узлов, например, лопаток узких закрытых рабочих колес центробежных компрессоров. В таких случаях специалистами АО НТК проводится геометрическое и газодинамическое моделирование рабочих элементов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ (DISCUSSION)

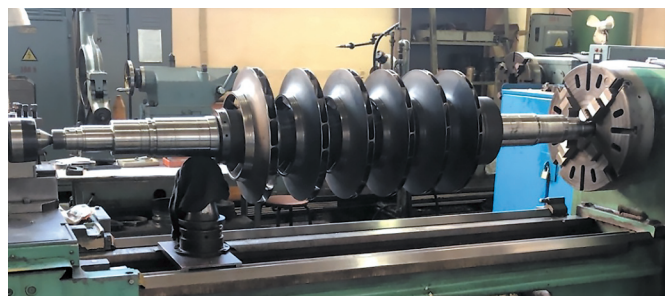
В работах обратного инжиниринга участвуют высокопрофессиональные специалисты, занимающиеся разработкой и расчетом компрессорного оборудования в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» и АО «Казанькомпрессормаш» (далее АО ККМ) [4, 5].

Однако в процессе обратного инжиниринга оборудования компрессорной области решаются новые задачи, основная сложность которых заключается не столько в получении конструктивно идентичного аналога, а сколько в обеспечении работоспособности при методах и инструментах его изготовления, адаптированных к отечественной технологии производства. Далее рассмотрим некоторые примеры реализации полнокомплектного замещения компрессорных агрегатов и введенные изменения в конструкции или технологии изготовления при проведении обратного инжиниринга. В 2022-2023 гг. в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» проведен обратный инжиниринг центробежного компрессора *Baker Hughes BCL356/A* (США) (рис. 1). В реализованном проекте заново изготовлены рабочие колеса 5-й и 6-й ступеней и думмиса, заменены наддуммисная лабиринтная втулка и уплотнительное кольцо выходного коллектора, восстановлена целостность торцевой крышки и проставка торцевого коллектора и отбалансирован ротор в сборе. Отремонтированная сменная проточная часть (СПЧ) позволяет заменить оригинальную с высокой степенью физического износа на новую с сохранением всех проектных газодинамических характеристик.

Изготовленные рабочие колеса по разработанной технологии были установлены на ротор СПЧ. В декабре 2023 г. прошла укладка импортозамещенной СПЧ в корпус иностранного компрессора, и произведен успешный пуск компрессорной установки с обкаткой на объекте у Заказчика в течение 72 ч.



а)



б)

Рис. 1. Реинжиниринг компрессора *Baker Hughes BCL356/A*: а) статочная часть, б) роторная часть в процессе дефектации

Fig. 1. Re-engineering of *Baker Hughes BCL356/A* compressor: а) stator part, б) rotor part in the process of condition inspection

Для пайки рабочих колес СПЧ был применен припой, аналогичный оригинальному [6], и разработан технологический процесс пайки с последующей термообработкой (рис. 2). Новый припой обеспечивает оптимальный комплекс механических и технологических характеристик для вакуумной пайки аустенитно-мартенситной стали марки 07X16H6 и способствует формированию качественного паяного соединения. Поскольку температура пайки новым припоем близка к температуре закалки стали 07X16H6, был выполнен совместный процесс закалки сплава с процессом пайки.

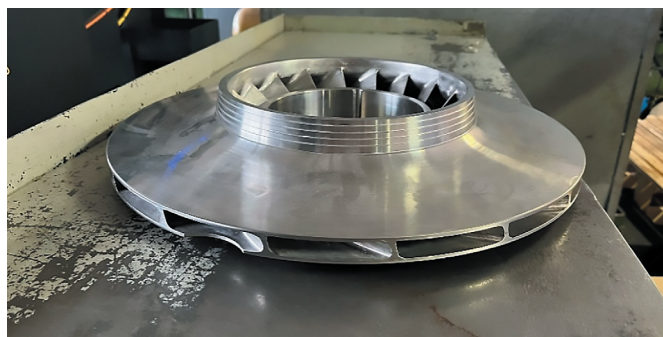


Рис. 2. Рабочее колесо из стали 07X16H6, паяное припоем на основе Ni [6]

Fig. 2. Impeller made of 07X16H6 steel soldered with nickel solder [6]

В 2023-2024 гг. в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» проведен обратный инжиниринг узла вращения в сборе в соответствии с предоставленным образцом — оригиналом турбодетандера с компрессором в сборе *Rotoflow* марки 50-11E 12C (США) (рис. 3). Было проведено комплексное проведение работ по эскизированию, разработке РКД деталей агрегата с последующим изготовлением узла вращения в сборе в соответствии с предоставленным оригинальным образцом. Узел вращения является важной составляющей блока расширения и сжатия природного газа, представляющего собой одноступенчатый турбодетандер, мощностью 1186 кВт, с абсолютным давлением 56,03 кг/см², выполненный как одно целое с одноступенчатым центробежным компрессором, расположенным на противоположном конце вала турбодетандера. В результате выполненных работ обратного инжиниринга был создан полнокомплектный аналог, идентичный по характеристикам и габаритно-присоединительным размерам оригинальной конструкции. Были изготовлены:

- корпус;
- ротор узла вращения с консольно-насаженными рабочими полуоткрытыми колесами компрессора и детандера с пространственными лопатками;
- опорно-упорные подшипники (стороны компрессора и детандера);
- лабиринтные уплотнения вала и колес (стороны компрессора и детандера), втулки;
- теплозащитные перегородки;

- системы трубопроводов (масляные и уплотнительного газа);
- уплотнительные кольца и крепежные элементы.

В процессе работ методом рентгенофлуоресцентного спектрального анализа (в индивидуальном порядке методом оптико-эмиссионного спектрального анализа), исходя из функционала детали, а также с учетом технических характеристик на оборудование, были подобраны материалы-аналоги, гарантирующие качественную и безопасную работу изделия. Корпус турбодетандера по результатам обратного реинжиниринга изготовлен из поковки (оригинальная конструкция *Rotoflow* выполнена литой) с сохранением всех геометрических размеров и функциональности конструкции, при этом РКД была разработана на оба варианта технологии.



а)



б)



в)

Рис. 3. Реинжиниринг турбодетандера *Rotoflow* марки 50-11E 12C (США): а) сборка корпуса до покраски, б) бронзовый упорный подшипник скольжения со спиралевидными канавками, в) колесо детандера

Fig. 3. Re-engineering of *Rotoflow* turboexpander 50-11E 12C (USA): а) assembling of the body before painting, б) bronze thrust bearing with spiral grooves, в) expander wheel

В 2024-2025 гг. в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» были спроектированы и изготавливаются пять СПЧ для установки в корпус компрессоров *Solar* (США). Одной из сменных проточных частей является СПЧ-314/3-18, которая устанавливается в корпус центробежного компрессора *C61ML07MAS-0514* компрессорной установки *Mars-100* (рис. 4). Особенностью СПЧ является то, что она спроектирована на па-

раметры, указанные в техническом задании Заказчика, устанавливается без каких-либо доработок на место оригинального СПЧ с использованием штатных торцевых уплотнений СГУ. Вместе с СПЧ-314/3-18 разработаны и изготовлены подшипники скольжения. В отличие от оригинальной конструкции разработанная СПЧ-314/3-18 дает возможность полного технического обслуживания и проведение плановых ремонтов проточной части в условиях эксплуатации.

По аналогичным конструктивным изменениям (компрессор с горизонтальным разъемом) спроектирована и изготавливается также СПЧ-53/17-80 для компрессора высокого давления *Solar C3368HEL-0105* (США) компрессорной установки *Mars-100*, компримирующей попутный нефтяной газ.



а)



б)

Рис. 4. СПЧ-314/3-18 для компрессора высокого давления *Solar C61ML07MAS-0514*: а) общая сборка, б) примерка статорной и роторной частей

Fig. 4. SPCh-314/3-18 for high-pressure compressor *Solar C61ML07MAS-0514*: а) general assembly, б) fitting of stator and rotor parts

В 2023-2024 гг. в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» был проведен обратный инжиниринг винтовой компрессорной установки сухого сжатия *Aerzen Maschinenfabrik GmbH* марки *RKR CS36* (ФРГ) (рис. 5). На станках с ЧПУ была изготовлена новая роторная пара (ведущий и ведомый роторы) с точным повторением профиля винтов оригинальной конструкции, разработан и изготовлен новый корпус с освоением технологии литья сложной геометрической формы. Были заменены уплотнительная втулка, очищена камера всасывания, заменен блок цилиндров, зачищены шестерни связи ведущего и ведомого роторов компрессора, шестерня и зубчатое колесо мультипликатора, заменены подшипники качения и пр. В 2025 г. осуществляются пуско-наладочные работы установки *Aerzen* на объекте Заказчика.



Рис. 5. Реинжиниринг винтового компрессора *Aerzen* марки *RKR CS36* перед отгрузкой Заказчику

Fig.5. Re-engineering of *Aerzen* screw compressor *RKR CS36* before shipment to the Customer

Совместно с обратным инжинирингом компрессорных агрегатов импортного производства специалисты АО НТК осваивают отдельные узлы конструкции, например, подшипники скольжения и уплотнения различной сложности (рис. 6) на соответствующие компрессоры: *Siemens*, *Lufkin*, *Ingersoll Rand*, *Hitachi*, *Sundyne*, *Nuovo Pignone*, в целом покрывающие область применения импортного оборудования.

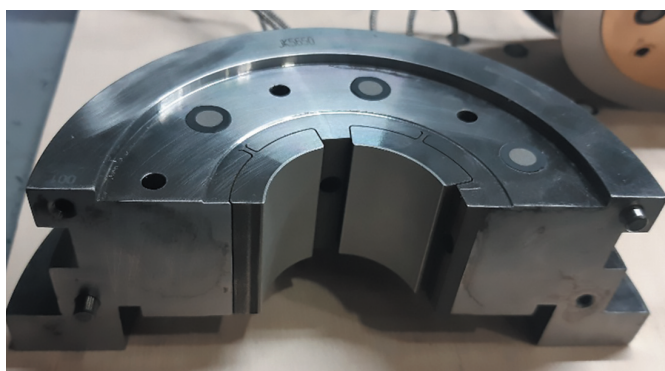


Рис. 6. Опорный подшипник *Sundyne* с упругим основанием колодок

Fig.6. *Sundyne* flexure pivot tilting pad journal bearing

ВЫВОДЫ (CONCLUSION)

Таким образом, успешно выполненные проекты по проведению представленных инжиниринговых работ указанного компрессорного и энергетического оборудования иностранных фирм и прочих проектов [1-3] характеризуют компетенции АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» на качественном уровне выполнять разработку конструкторской документации, обеспечивать требуемую технологию производства и выполнять поставку высокотехнологичной компрессорной техники, деталей и конструктивных узлов в рамках программ по импортозамещению, реализуемых предприятиями топливно-энергетического комплекса России.

Представленные проекты относятся к проведению технологии обратного инжиниринга и импортозамещения иностранного оборудования. При этом АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» обладает собственным обширным типоразмерным рядом центробежных компрессоров с горизонтальным вертикальным разъемами, мультипликаторных центробежных компрессоров, турбодетандеров и винтовых компрессоров, полноценно обеспечивающих условия работы и требования Заказчика в химической, газовой, энергетической, нефтяной промышленности, технологии СПГ и др. областях применения. Следовательно, потребителям стоит рассматривать возможность замены импортного компрессорного оборудования на объектах Заказчика полностью на отечественные разработки. В этом безусловно пригодится многолетний опыт проектирования и изготовления компрессорных установок АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», который обеспечит гарантию успешности выполнения требуемых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сарманаева, А. Ф.* Комплексный подход для обеспечения качества продукции, разрабатываемой с применением методов реверс-инжиниринга / *А. Ф. Сарманаева, Н. В. Соколов, О. Ю. Паранина* и др. — Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. — 2023. — № 4. — С. 42-45.
2. *Сарманаева, А. Ф.* Проблемные вопросы и пути их решения при проведении реверс-инжиниринга узлов компрессорных машин / *А. Ф. Сарманаева, Н. В. Соколов, О. Ю. Паранина* и др. — Текст непосредственный // Омский научный вестник. Сер. Авиацонно-ракетное и энергетическое машиностроение. — 2024. — Т. 8. — № 3. — С. 53-60.
3. *Сарманаева, А. Ф.* Импортозамещение компрессорного оборудования иностранного производства посредством реверс-инжиниринга / *А. Ф. Сарманаева, Н. В. Соколов, А. М. Ахметзянов* и др. // В книге: Новые направления и тренды инновационной деятельности на предприятиях газовой промышленности. сборник тезисов XIV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ООО «Газпром трансгаз Казань». — Казань, 2024. — С. 25-33.

4. *Хисамеев, И. Г.* Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров / *И. Г. Хисамеев, В. А. Максимов, Г. С. Баткис, Я. З. Гузельбаев*; ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», ОАО «Казанькомпрессормаш», Казанский государственный технологический университет, Академия наук Республики Татарстан. — Казань: Изд-во «ФЭН», 2010. — 671 с. — ISBN 978-5-9690-0111-4. — Текст: непосредственный.
5. *Хисамеев, И. Г.* Двухроторные винтовые и прямо-зубые компрессоры: Теория, расчет и проектирование / *И. Г. Хисамеев, В. А. Максимов*; Академия наук Республики Татарстан. — Казань: Изд-во «ФЭН», 2000. — 638 с. — ISBN 5-7544-0153-1. — Текст: непосредственный.
6. *Поморцев, Е. Н.* Исследование вакуумной пайки аустенитно-мартенситной стали припоями на основе никеля / *Е. Н. Поморцев, Д. Е. Якимов, З. Р. Габдрахманова*. — Текст: непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. — 2025. — № 1. — С. 72-80.

REFERENCES

1. *Sarmanaeva, A. F.* An integrated approach to ensure the quality of products developed using reverse engineering methods / *A. F. Sarmanaeva, N. V. Sokolov, O. Yu. Paranina et al.* — Text direct // Compressors and Pneumatics. — 2023. — № 4. — S. 42-45.
2. *Sarmanaeva, A. F.* Problematic issues and ways to solve them during reverse engineering of compressor design units / *A. F. Sarmanaeva, N. V. Sokolov, O. Yu. Paranina et al.* — Text direct // Omsk Scientific Bulletin. Series of Aviation, Rocket and Power Engineering. — 2024. — Т. 8. — № 3. — S. 53-60.
3. *Sarmanaeva, A. F.* Import substitution of foreign-made compressor equipment through reverse engineering / *A. F. Sarmanaeva, N. V. Sokolov, A. M. Ahmetzyanov et al.* — Text direct // In: New areas and trends of innovation activities at gas industry enterprises. Collection of theses of the XIV Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists of Gazprom Transgaz Kazan. — Kazan, 2024. — S. 25-33.
4. *Hisameev, I. G.* Designing and operation of industrial centrifugal compressors / *I. G. Hisameev, V. A. Maksimov, G. S. Batkis, Ya. Z. Guzelbaev*; Kazancompressormash JSC, Kazan State Technological University, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan — Kazan: Publishing house of «FЭN», 2010. — 671 s. — ISBN 978-5-9690-0111-4. — Text direct.
5. *Hisameev, I. G.* Twin-rotor screw and spur compressors: theory, calculation and engineering. / *I. G. Hisameev, V. A. Maksimov*; Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan. — Kazan: Publishing house of «FЭN», 2000. — 638 s. — ISBN 5-7544-0153-1. — Text direct.
6. *Pomorcev, E. N.* Investigation of vacuum brazing with nickel solders for austenomartensitic steel / *E. N. Pomorcev, D. E. Yakimov, Z. R. Gabdrahmanova*. — Text direct // Compressors and Pneumatics. — 2025. — № 1. — S. 72-80.

АВТОРЫ ПУБЛИКАЦИИ

Сарманаева Альбина Фаридовна — кандидат технических наук, заместитель главного конструктора, АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

Соколов Николай Викторович — кандидат технических наук, главный специалист, АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

Коршунов Максим Виталиевич — кандидат химических наук, главный специалист, АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

Давлетшин Ильдар Салихзянович — кандидат технических наук, главный специалист, АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

Ахметзянов Альберт Мингаязович — управляющий директор АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

Ибрагимов Евгений Рашитович — кандидат технических наук, директор по импортозамещению и локализации, Бизнес-единица «ГМС Компрессоры»; ООО «УК «Группа ГМС»; 125047, Россия, г. Москва, ул. Чаянова, д. 7.

Шайхутдинов Ильшат Ришатович — заместитель главного конструктора, АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа», 420029, Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 40.

AUTHORS OF THE PUBLICATION

Albina F. Sarmanaeva — Cand. of Eng. Sc, Deputy Chief Designer, JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Nikolay V. Sokolov — Cand. of Eng. Sc, Chief Specialist, JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Maxim V. Korshunov — Cand. of Chem. Sc., Chief Specialist, JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Ildar S. Davletshin — Cand. of Eng. Sc, Chief Specialist, JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Albert M. Akhmetzyanov — Managing Director of JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Evgeny R. Ibragimov — Cand. of Eng. Sc, Director of Import Substitution and Localization, GMS Compressors Business Unit; GMS Group Management Company LLC; 7 Chayanova St., Moscow, 125047, Russia.

Ilishat R. Shaykhutdinov — Deputy Chief Designer, JSC NIIturbocompressor n.a. V. B. Shnepp, 40 Sibirskiy Trakt str., Kazan, 420029, Russia.

Поступила в редакцию: 24.03.2025

Принята в печать: 12.05.2025