



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Донской государственный
технический университет»
(ДГТУ)

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Приемная ректора т. 8(863) 273-85-25
Общий отдел т. 8(863) 273-85-11
Факс т. 8(863) 232-79-53

E-mail: reception@donstu.ru

ОКПО 02069102 ОГРН 1026103727847

ИНН/КПП 6165033136/616501001

№ _____
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и МД

ФГБОУ ВО «Донской государственный

технический университет»

технических наук, профессор

_____ А.Н. Бескопильный

» _____ 04 2026 г.

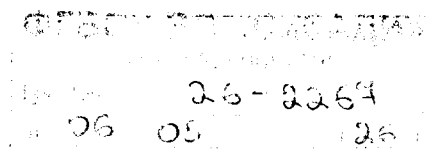


ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) на диссертационную работу и автореферат **Екимова Геннадия Игоревича** на тему: **«Разработка, теоретическое и экспериментальное исследования новой высокоэффективной одноцилиндровой одноступенчатой поршневой гибридной энергетической машины с организацией движения жидкости в рубашечном пространстве с помощью газового канала»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.10 – «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы».

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Повышение энергетической эффективности поршневых компрессоров является важной научно-технической задачей, поскольку данные машины широко используются в промышленности и потребляют значительную долю электроэнергии. Одним из наиболее эффективных путей повышения индикаторного КПД является приближение процесса сжатия к изотермическому за счёт интенсивного охлаждения. Традиционные системы охлаждения с отдельным насосом увеличивают массогабаритные показатели и энергозатраты.



В связи с этим разработана новая конструкция одноцилиндровой поршневой гибридной энергетической машины объёмного действия (ПГЭМОД) с безнасосной системой охлаждения, где движение жидкости в рубашке организуется за счёт подачи сжатого газа из рабочей полости через специальный канал, является несомненно актуальной. Работа направлена на решение проблемы снижения энергетических затрат на сжатие газа, используемого для прокачки охлаждающей жидкости, что соответствует современным тенденциям в области энергосберегающего машиностроения.

2. Научная новизна результатов исследования

1. Проведён термодинамический анализ эффективности использования сжатого газа для организации движения охлаждающей жидкости в рубашке машины. Выявлены рациональные геометрические размеры газового канала, соединяющего рабочую полость с полостью всасывания, и определено оптимальное расположение этого канала по ходу поршня в зависимости от показателя политропы сжимаемого газа.
2. Разработана комплексная математическая модель рабочих процессов новой ПГЭМОД, отличающаяся иерархическим подходом: нульмерное моделирование полостей переменного и постоянного объёма (с сосредоточенными параметрами) сочетается с одномерным нестационарным описанием течения газа и жидкости в каналах. Модель учитывает теплообмен, динамику клапанов и возможность итерационного согласования прямого и обратного потоков охлаждающей жидкости.
3. На основе численного параметрического анализа установлены закономерности влияния основных геометрических (диаметр, длина и расположение газового канала, объём полости всасывания) и эксплуатационных (давление нагнетания, частота вращения коленчатого вала) параметров на расход охлаждающей жидкости, коэффициент подачи и индикаторный изотермический КПД. Определены рациональные диапазоны этих параметров.

3. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость состоит в создании научно обоснованной методики расчёта рабочих процессов одноцилиндровой ПГЭМОД с

безнасосной системой охлаждения. Разработанная математическая модель может быть использована для проектирования и оптимизации подобных машин с различными конструктивными схемами.

Практическая значимость подтверждена:

- разработкой нового способа автономного жидкостного охлаждения поршневого компрессора и конструкции одноцилиндровой одноступенчатой ПГЭМОД, защищённых патентом РФ на изобретение № 2825501;
- созданием двух опытных образцов (с нулевой и конечной длиной газового канала) и экспериментального стенда, оснащённого современной измерительной аппаратурой;
- получением экспериментальных данных, подтверждающих, что использование газового канала конечной длины позволяет увеличить расход охлаждающей жидкости почти в два раза, снизить среднюю температуру деталей цилиндра-поршневой группы на 5–6 К и повысить коэффициент подачи компрессора на 7–8 %;
- внедрением результатов в ООО «Арматурное машиностроение» и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Энергетическое машиностроение».

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- корректным использованием фундаментальных законов термодинамики и механики жидкости при построении математической модели;
- применением апробированных численных методов (метод крупных частиц для газа, метод характеристик для жидкости);
- проведением широкого комплекса экспериментальных исследований на специально созданном стенде с использованием поверенных измерительных приборов;
- хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных результатов: расхождение по интегральным характеристикам (коэффициент подачи,

индикаторный КПД) не превышает 5 %, по мгновенному давлению – 5–10 %, что подтверждает адекватность модели.

5. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 128 наименований и одного приложения. Общий объём – 255 страниц, включая 97 рисунков и 11 таблиц.

- **Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость, представлены выносимые на защиту положения.
- **В первой главе** проведён анализ существующих конструкций ПГЭМОД и методов их расчёта, обоснован выбор объекта исследования, выявлены недостатки прототипа и предложена новая конструкция с газовым каналом конечной длины.
- **Во второй главе** представлена математическая модель рабочих процессов, включающая систему дифференциальных уравнений для полостей, каналов и клапанов, а также описан итерационный алгоритм её реализации.
- **В третьей главе** подробно описаны экспериментальные образцы, стенд, методики измерений и результаты экспериментальных исследований. Проведена верификация математической модели и сравнительный анализ двух конструкций (с нулевой и конечной длиной канала).
- **В четвёртой главе** приведены результаты численного параметрического анализа влияния геометрических и эксплуатационных параметров на интегральные характеристики машины, даны рекомендации по выбору рациональных значений.
- **В заключении** сформулированы основные выводы и результаты работы.

6. Соответствие диссертации паспорту специальности 2.5.10

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.5.10 – «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы» по следующим пунктам:

- п. 1 – математическое моделирование и оптимизация гидравлических машин;
- п. 2 – методы расчётов гидравлических, компрессорных машин;
- п. 4 – исследование физических взаимосвязей между рабочими процессами и конструктивными параметрами.

7. Соответствие диссертации требованиям Положения о присуждении учёных степеней (пп. 9–14)

Диссертация соответствует п. 9 (является научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли знаний), п. 10 (написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты), п. 11 и 13 (основные научные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях: по теме диссертации опубликовано 6 статей в изданиях из перечня ВАК РФ, из них 4 индексируются в Scopus, что соответствует требованию не менее 2 публикаций для кандидатской диссертации по техническим наукам). П. 14 соблюдены: все заимствования имеют корректные ссылки на источники.

8. Замечания по диссертационной работе и автореферату

В ходе рецензирования работы возникли следующие замечания и вопросы:

1. В математической модели (глава 2) для описания течения газа в соединительных каналах используется допущение об изотермичности и квазистационарности. Не приведено количественного обоснования правомерности этого допущения для исследуемого диапазона частот вращения коленчатого вала (особенно при 1400 об/мин). Желательно было оценить число Струхала и сравнить время релаксации с характерным временем процесса.
2. При термодинамическом анализе (раздел 2.1) затраты энергии на сжатие газа, подаваемого в полость всасывания, оцениваются через интеграл от удельной энтальпии. Не учтена возможная работа расширения газа при его перетекании через канал, что могло бы несколько уточнить баланс энергии.

3. В экспериментальной части (раздел 3.5) представлены зависимости коэффициента подачи от давления нагнетания при разных оборотах (рис. 3.5.7). Однако на рисунке 3.5.7 (а) и (б) отсутствуют обозначения экспериментальных точек и погрешности измерений. Хотя в тексте указана общая погрешность (до 3 % для коэффициента подачи), графики было бы полезно дополнить доверительными интервалами.
4. При анализе влияния объёма полости всасывания (раздел 4.6) автор делает вывод, что уменьшение этого объёма при всасывании из атмосферы однозначно улучшает характеристики, и отдельно отмечает, что при наличии всасывающего трубопровода объём следует выбирать из условия гашения пульсаций. Однако количественные критерии для такого выбора (допустимые амплитуды пульсаций, методика расчёта) не приведены, а границы применимости рекомендации для случая с трубопроводом не установлены. Это не снижает ценности работы, но указывает на направление дальнейших исследований.
5. В списке литературы отсутствуют некоторые современные работы (за последние 2–3 года) по численному моделированию пульсирующих течений в каналах поршневых компрессоров. Включение таких источников могло бы усилить обоснованность выбора численных методов.

Указанные замечания не носят принципиального характера, не снижают научной ценности работы и не ставят под сомнение её основные результаты и выводы.

9. Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты работы целесообразно использовать:

- в конструкторских бюро при проектировании поршневых компрессоров малой и средней производительности с жидкостным охлаждением;
- при модернизации существующих компрессорных установок для повышения их энергоэффективности;
- в учебном процессе при подготовке инженеров по направлениям «Энергетическое машиностроение» и «Гидравлические машины».

10. Заключение

Диссертационная работа Екимова Геннадия Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи – повышения эффективности поршневого компрессора за счёт создания новой конструкции с безнасосной системой охлаждения и разработки метода её расчёта. По объёму, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертация соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, **Екимов Геннадий Игоревич**, заслуживает присуждения учёной степени **кандидата технических наук** по специальности 2.5.10 – «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы».

Данный отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет».

Протокол № 9 от 24 апреля 2026 г. Результаты голосования: за – 15, против – нет, воздержались – нет.

Профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» доктор технических наук профессор

___ Рыбак Александр Тимофеевич

Секретарь кафедры

___ Подлесный Дмитрий Сергеевич

«24» апреля 2026 г.

Мы, Рыбак Александр Тимофеевич и Подлесный Дмитрий Сергеевич, даём согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Екимова Геннадия Игоревича, и их дальнейшую обработку.

*Согласие выдан
06.05.2026 Екимов Г.И.*
