

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.07,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА»,  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 28.06.2018 г. № 6

О присуждении Мурманскому Илье Борисовичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок паровых турбин» по специальности 05.04.12 – Турбомашинны и комбинированные турбоустановки принята к защите 25 апреля 2018 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д 212.285.07, созданным на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 763/нк от 05.11.2013 г.

Соискатель, Мурманский Илья Борисович, 1992 года рождения, в 2014 году окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 140503 Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели; обучается в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника (Турбомашинны и комбинированные турбоустановки), предполагаемый срок окончания аспирантуры – 31.08.2018 г.; работает в должности на-

учного сотрудника кафедры «Турбины и двигатели» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Аронсон Константин Эрленович, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский энергетический институт, кафедра «Турбины и двигатели», профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Хоменок Леонид Арсеньевич** – доктор технических наук, профессор, ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», г. Санкт-Петербург, аналитический отдел, заведующий отделом;

**Шемшелев Александр Георгиевич** – доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, кафедра теплотехники и гидравлики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», г. Москва – в своем положительном отзыве, подписанном Тарадаем Дмитрием Вадимовичем, канд. техн. наук, заведующим отделением турбинных установок, и Тумановским Анатолием Григорьевичем, д-ром техн. наук, председателем ученого совета, указала, что диссертационная работа Мурманского И.Б. полностью соответствует паспорту специальности 05.04.12 и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней (п. 9). В диссертации разработаны и изложены научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых обеспечит значительный вклад в развитие энергетического комплек-

са страны за счет повышения эффективности и надежности работы паротурбинных установок. Мурманский И.Б. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 – Турбомашин и комбинированные турбоустановки.

Соискатель имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 33 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ.

Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 1 патента РФ на полезную модель, 1 патента РФ на изобретение, 1 свидетельства о госрегистрации программы для ЭВМ; 3 статей, опубликованных в российских (2) и зарубежных (1) журналах; 19 тезисов, опубликованных в сборниках докладов всероссийских (8), международных (9) и региональных (2) научных конференций; 2 учебных пособий. Общий объем опубликованных работ – 13,0 п.л., авторский вклад – 3,5 п. л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:*

1. Мурманский И.Б. Надежность пароструйных эжекторов турбоустановок / Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., **Мурманский Б.Е.**, Мурманский И.Б., Желонкин Н.В. // Научно-технический журнал «Надежность и безопасность энергетики». – 2016. – № 2 (33) – С. 60-64; 0,4 п.л./0,1 п.л.

2. Murmanskii I.B. Increasing the reliability of steam-jet ejectors in power plant turbines / A.Y. Ryabchikov, K.É. Aronson, Y.M.Brodov, B.E. Murmanskii, **I.B. Murmanskii**, N.V. Zhelonkin, S.I. Khaet // Power Technology and Engineering. – 2017. – 50(5) – С. 546-548; 0,3 п.л./0,1 п.л. (Scopus).

3. Murmanskii I.B. Analysis of experimental characteristics of multistage steam-jet electors of steam turbines / K.E. Aronson, A.Y. Ryabchikov,

Y.M. Brodov, D.V. Brezgin, N.V. Zhelonkin, **I.B. Murmanskii** // Thermal Engineering. – 2017 – 64(2) – С. 104-110; 0,4 п.л./0,1 п.л. (Scopus).

4. Murmanskii I.B. Functioning efficiency of intermediate coolers of multi-stage steam-jet ejectors of steam turbines / K.E. Aronson, A.Y. Ryabchikov, Y.M. Brodov, N.V. Zhelonkin, **I.B. Murmanskii** // Thermal Engineering. – 2017. – 64(3) – С. 170-175; 0,5 п.л./0,2 п.л. (Scopus).

5. Murmanskii I.B. Ejectors of power plants turbine units efficiency and reliability increasing / K.E. Aronson, A.Yu. Ryabchikov, **I.B. Murmanskii** и др. // Journal of Physics Conference. – 2017. – № 891 – UNSP 012249; 0,6 п.л./0,3 п.л.(Scopus, WoS).

6. Murmanskii I.B. Investigation of the effect of pressure increasing in condensing heat-exchanger / **I.B. Murmanskii**, K.E. Aronson, Yu M. Brodov и др. // Journal of Physics Conference Series. – 2017. – № 891 – UNSP 012122; 0,6 п.л./0,2 п.л. (Scopus, WoS).

#### **Патенты и программы**

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016611885 Российская федерация. Программный комплекс для ЭВМ «Конструкторский и поверочный расчет пароструйных эжекторов» / Аронсон К.Э., Мурманский И.Б., Брезгин Д.В., Рябчиков А.Ю., Чубаров А.А., Бродов Ю.М.; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – №20156185492, заявл. 17.09.2015; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.02.2016.

8. Патент на полезную модель №170935 Российская федерация, МПК F04F5/00. Пароструйный трёхступенчатый эжектор / Бродов Ю.М., Купцов В.К., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Мурманский И.Б., Желонкин Н.В., Брезгин Д.В.; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – №2016119824; заявл. 23.05.2016; опублик. 15.05.2017, Бюл. 14. – 9 с.

9. Патент на изобретение №2645635 Российская федерация, МПК F04F5/30. Пароструйный трёхступенчатый эжектор / Бродов Ю.М., Купцов

В.К., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Мурманский И.Б., Желонкин Н.В., Брезгин Д.В., Хаец С.И.; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – № 2016126736; заявл. 04.07.2016; опубл. 26.02.2018, Бюл. 6. – 4 с.

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы:

1. Зарянкина Аркадия Ефимовича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры паровых и газовых турбин ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», г. Москва. Содержит замечания:

– Из автореферата не ясно, каким образом в методике расчёта многоступенчатых пароструйных эжекторов учесть обнаруженный эффект существенного изменения давления паровоздушной смеси в промежуточном охладителе;

– Следовало бы пояснить физическую природу достижения в средней части конфузора камеры смешения скорости звука в инжектируемом потоке.

2. Цегельского Валерия Григорьевича, д-ра техн. наук, главного научного сотрудника НИИ Энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени Н.Э. Баумана». Содержит замечания:

– В работе отсутствует сопоставление результатов расчёта эжекторов по методикам других авторов и предлагаемой методике;

– В уточненной методике расчета для определения коэффициента эжекции применяется уравнение (1), в котором используется эмпирический коэффициент  $\mu$  изменяющийся в диапазоне  $1 \div 1,5$ , однако:

- этот коэффициент подобран только для двух групп экспериментально исследованных промышленных эжекторов, каждая из которых имеет достаточно узкий диапазон основного геометрического параметра эжектора;

- в уравнении для расчета коэффициента эжекции (1) не учитывался такой геометрический параметр, как расстояния от среза сопла до входного сечения камеры смешения. Однако результаты приведенных в работе экспериментальных исследований показывают значительное влияние этого расстоя-

ния на коэффициент эжекции и эффективность эжектора;

- сильное влияние на коэффициент эжекции оказывают площадь входного сечения камеры смешения и конусность ее входного участка, также не учитываемые уравнением;

Всё это сужает применимость уточненной методики расчета до экспериментально исследованных и подобных им геометрий эжекторов;

– Для более полного понимания процесса повышения или понижения замеряемого в эксперименте статического давления на выходе из охладителя по сравнению со статическим давлением на входе в него необходимо знать полное давление торможения потока парогазовой смеси на выходе из эжектора (расчетное или экспериментальное). Однако, как расчетные, так и экспериментальные значения полного давления в работе не приводятся.

3. Мильмана Олега Ошеревича, д-ра техн. наук, проф., директора по науке, и Шифрина Бориса Ароновича, канд. техн. наук, начальника конструкторского бюро термодинамических и газодинамических расчетов ЗАО Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбоконт», г. Калуга. Содержит замечания:

– Из материалов автореферата не ясно, как соотносятся отборы пара на существующий эжектор и на эжектор, предложенный автором работы. Если они неодинаковы, то как это учтено при сравнении эффективности эжекторов и при оценке экономического эффекта от внедрения предложенного?

– Эффект повышения давления ПВС в пароохладителе между ступенями эжектора, обнаруженный автором работы экспериментально и возникающий при определённых условиях, целесообразно было бы, на наш взгляд, исследовать более подробно и, с учётом результатов этого исследования, разработать физическую картину и математическую модель, которая его описывает.

4. Рассохина Виктора Александровича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры «Турбины, гидромашин и авиационные двигатели» ФГА-

ОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Содержит замечания:

– На турбинах, как правило, устанавливается два основных эжектора (возможно и больше). Согласно правилам ПТЭ в работе должен находиться один эжектор, второй – в резерве. Почему тогда, практически каждый отказ эжектора приводит к останову турбины?

– Возможен ли эффект повышения давления в промежуточных охладителях других, отличных от разработанных автором, конструкциях эжекторов?

5. Бухмирова Вячеслава Викторовича, д-ра техн. наук, проф., заведующего кафедрой «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», г. Иваново. Содержит замечания:

– В автореферате не приведены средства измерений и методика проведения эксперимента;

– Каким образом экспериментально определена степень сухости пара?

– Необходимо привести в автореферате перечень опубликованных тезисов докладов.

6. Ледуховского Григория Васильевича, канд. техн. наук, доц., заместителя заведующего кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». Содержит замечания:

– Экономический эффект от установки нового эжектора конденсационной установки турбины К-200-130 ЛМЗ (глава 5 диссертации) определён для энергосистемы с дефицитом располагаемой мощности. В действительности в большинстве случаев в энергосистеме России приходится иметь дело с резервом располагаемой мощности. Для таких условий экономический эффект должен быть основан на уменьшении удельного расхода топлива на от-

пуск электроэнергии при неизменной выработке электроэнергии. При этом величина экономического эффекта существенно уменьшится.

7. Чичировой Наталии Дмитриевны, д-ра хим. наук, проф., заведующей кафедрой «Тепловые электрические станции», и Евгеньева Игоря Владимировича, канд. техн. наук, доцента кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Содержит замечания:

– В автореферате не приведены результаты исследований при различном осевом положении сопла разработанного автором эжектора ЭПО-3-80;

– На рис. 6 не указано отклонение вакуума в конденсаторе от нормативной величины в феврале 2017 г. при работе нового эжектора ЭПО-3-80.

8. Ивановского Александра Александровича, канд. техн. наук, генерального конструктора ПАО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург. Содержит замечания:

– Необходимо акцентировать выполненную работу не только на одни из методов и способов продления паркового ресурса, но и главное – на создании серии оригинальных паровых эжекторов для вновь выпускаемых паровых турбин;

– В реферате практически не описана схема измерений экспериментального стенда и нет ссылок на применяемые методики проведения исследований и обработки экспериментальных данных.

9. Култышева Алексея Юрьевича, канд. техн. наук, заместителя генерального директора – директора по сбыту ПАО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург. Содержит замечания:

– На основе чего определялось количество ступеней эжектора при расчёте?

– С чем связано более высокое отклонение вакуума от нормативного в летний период?

10. Сосновского Андрея Юрьевича, канд. техн. наук, заместителя



технического директора Инженерного центра по турбоустановкам ООО Управляющая компания «Теплоэнергосервис», г.Екатеринбург. Содержит замечания:

– Целесообразно ли включение в работу, в дополнение к эжектору ЭПО-3-80, резервного эжектора для дальнейшего снижения отклонения вакуума в конденсаторе турбины К-200-130 ЛМЗ?

11. Тарасова Алексея Викторовича, канд. техн. наук, доцента, первого заместителя директора – главного инженера ООО «Сибэкс», г. Екатеринбург. Содержит замечания:

– Автор исследования не уточнил первичные средства измерения величин указав лишь величины среднеквадратичной погрешности. Кроме того, в схеме измерения присутствует измерение расхода присосов воздуха. Требуется пояснение по измерению расхода в данном эксперименте;

– В тексте автореферата не представлены данные по влиянию измерения осевого зазора между срезом сопла пароструйного эжектора и «эффективным сечением». Вероятно, речь должна идти о диаграмме режимов работы или настройки пароструйного эжектора, что представляет практический интерес для эксплуатирующих организаций. Данный вопрос необходимо пояснить;

12.Кунтыша Владимира Борисовича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники, и Сухоцкого Альберта Борисовича, канд. техн. наук, доц., доцента кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники Белорусского государственного технологического университета, г. Минск. Без замечаний.

13. Шибаева Тараса Леонидовича, канд. техн. наук, главного конструктора АО «Уральский турбинный завод», г. Екатеринбург. Без замечаний.

14. Чекардовского Михаила Николаевича, д-ра техн. наук, доц., профессора кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФБГОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». Без замечаний.

15. Саитова Ильдара Хасяновича, д-ра физ.-мат. наук, профессора ка-

федры энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области турбиностроения; их высокой научной компетентностью в вопросах повышения эффективности основного и вспомогательного оборудования паровых турбин, наличием публикаций в данных областях науки, способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- разработана уточненная методика конструкторского и поверочного расчетов многоступенчатых пароструйных эжекторов на основе анализа и обобщения результатов проведенных промышленных испытаний, обобщения геометрических характеристик серийных эжекторов, а также численного моделирования;
- выявлен газодинамический эффект существенного изменения давления паровоздушной смеси в промежуточных охладителях эжектора на величину  $\Delta P = -4,0 \dots +8,6$  кПа;
- разработана физико-математическая модель, описывающая эффект повышения давления как скачок давления в формируемой на входе в теплообменник двухфазной двухкомпонентной среде.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- выявлены и обобщены связи между геометрическими параметрами, рабочими характеристиками и назначением (для конденсационных или теплофикационных турбин) многоступенчатых пароструйных эжекторов;
- разработана уточненная методика для расчета многоступенчатых пароструйных эжекторов в широком диапазоне параметров их функционирования;

- зафиксирован газодинамический эффект существенного изменения давления в промежуточных охладителях многоступенчатого эжектора. Предложена физико-математическая модель для описания полученного эффекта.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

- обобщены и проанализированы результаты промышленных испытаний 34 серийных эжекторов различных заводов-изготовителей;
- разработаны и обоснованы мероприятия по совершенствованию конструкций многоступенчатых пароструйных эжекторов;
- уточненная методика расчета многоступенчатых пароструйных эжекторов использована для разработки ряда высокоэффективных эжекторов, повышающих экономичность конденсационных установок паровых турбин;
- разработанный новый эжектор ЭПО-3-80 изготовлен, установлен на ТЭС и в течение полутора лет успешно функционирует в составе турбины К-200-130 ЛМЗ, работающей в условиях повышенных присосов воздуха в вакуумную систему;
- разработана расширенная схема измерений многоступенчатых эжекторов, позволяющая подробно исследовать параметры функционирования эжектора, в том числе газодинамическое сопротивление промежуточных охладителей;
- результаты работы уже используются при модернизации серийных эжекторов, расчете и проектировании новых высокоэффективных эжекторов для конденсационных установок турбин ТЭС. Модернизировано и установлено на ТЭС более 50 многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин мощностью от 50 до 500 МВт.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** при проведении экспериментальных исследований использованы апробированные методики измерений и метрологически поверенные приборы. Результаты испытаний эжекторов хорошо согласуются с тестовыми данными других ав-

торов, а также с результатами расчетов по уточненной автором методике.

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке задач исследования; сборе, обработке и анализе данных о конструктивных и геометрических характеристиках оборудования; выполнении статистических и расчетных исследований; непосредственном участии в апробации результатов исследований; разработке уточненной методики расчета эжектора; разработке схемы измерений, планировании и выполнении экспериментальных исследований нового эжектора; обработке и интерпретации экспериментальных данных; разработке модели для объяснения эффекта повышения давления в промежуточных охладителях эжектора; подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация Мурманского И.Б. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки для эжекторов паротурбинных установок ТЭС, имеющие существенное значение для развития энергетики страны.

На заседании 28 июня 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Мурманскому И.Б. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Мунц Владимир Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Аронсон Константин Эрленович

28 июня 2018 г.

