

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИСПЫТАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Абиров А.А.<sup>1</sup>, Аубакиров Д.А.<sup>2</sup>, Абдрахманов Р.К.<sup>3</sup>, Шарифов Д.М.<sup>4</sup>,  
Серикбаев Н.С.<sup>5</sup>, Махмудов Б.Н.<sup>6</sup> Email: Abirov1139@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Абиров Аскар Абашевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Институт научно-технических и экономических исследований;

<sup>2</sup>Аубакиров Даурен Аубакирович - доктор философских наук, профессор,  
кафедра радиотехники, электроники и телекоммуникаций, физико-технический факультет,  
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева;

<sup>3</sup>Абдрахманов Рашид Кабдешевич - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;

<sup>4</sup>Шарифов Джумахон Мухторович - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник;

<sup>5</sup>Серикбаев Нуржан Сагындыкович - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
Институт научно-технических и экономических исследований,

г. Астана, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>Махмудов Бехруз Нозирович - аспирант,

лаборатория возобновляемых источников энергии и материаловедения,

Физико-технический институт им. С.У. Умарова, г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Аннотация:** в работе приведены результаты экспериментальных испытаний разработанного вихревого теплогенератора. Расчеты приведены для двух вариантов подключения вихревого теплогенератора: в замкнутой системе (настольный вариант) и в открытом варианте (подключенным к отопительным радиаторам). В ходе проведения экспериментов получены основные энергетические характеристики (КПЭ) вихревого теплогенератора. Приведен также сравнительный анализ параметров вихревых теплогенераторов различных производителей и сделаны выводы.

**Ключевые слова:** вихревой теплогенератор, коэффициент полезного действия, завихритель.

## TECHNOLOGICAL FEATURES AND TESTS OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE VORTEX HEAT GENERATOR

Abirov A.A.<sup>1</sup>, Aubakirov D.A.<sup>2</sup>, Abdrakhmanov R.K.<sup>3</sup>, Sharifov D.M.<sup>4</sup>, Serikbaev N.S.<sup>5</sup>,  
Makhmudov B.N.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Abarov Askar Abashevich - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,  
INSTITUTE OF SCIENTIFIC, TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH;

<sup>2</sup>Aubakirov Dauren Aubakirovich - Doctor of Philosophy, Professor,  
DEPARTMENT OF RADIO ENGINEERING, ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS, PHYSICO-TECHNICAL  
FACULTY,

EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY L.N. GUMILYOV;

<sup>3</sup>Abdrakhmanov Rashid Kabdeshevich - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher;

<sup>4</sup>Sharifov Dzhumakhon Mukhtorovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher;

<sup>5</sup>Serikbaev Nurzhan Sagyndykovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, INSTITUTE  
FOR SCIENTIFIC, TECHNICAL AND ECONOMIC RESEARCH,  
ASTANA, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN;

<sup>6</sup>Mahmudov Behrouz Nozirovich - Post-Graduate Student,  
LABORATORY OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY AND MATERIALS SCIENCE,  
IOFFE PHYSICO-TECHNICAL INSTITUTE. S.U. UMAROV,  
DUSHANBE, REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**Abstract:** the results of experimental tests, developed by a vortex heat generator, are presented in the work. Calculations are given for two variants of connecting a vortex heat generator: in a closed system (desktop version) and in an open version (connected to radiators). During the experiments, the main energy characteristics (KPI) of a vortex heat generator were obtained. Comparative analysis of the parameters of the vortex heat generators of different manufacturers is also given and conclusions are drawn.

**Keywords:** vortex heat generator, coefficient of efficiency, swirler.

УДК 523.527; 621,039; 662, 995

Основная цель и задачи построения новых технологических схем и разработка новых вихревых теплогенераторов (ВТ), как правило, направлены на получения максимальной тепловой энергии в закрученных потоках рабочего вещества (теплоносителя) в системе, оптимизация его режимов работы и повышения его энергоэффективности (КПЭ и КПД). В настоящее время, решение этих задач является одним из ключевых и актуальным при создании и разработке новых высокоэффективных ВТ [1-2].

В рамках настоящей работы приводятся результаты экспериментальных разработок и предварительных испытаний ВТ.

Технологические и конструкционные особенности ВТ:

- устройство экологически чистое, отсутствует необходимость сжигания углеводородных топлив (уголь, нефть, газ);
- отсутствуют нагревательные элементы;
- электроэнергия используется только для питания привода гидронасоса;
- отсутствует необходимость в водоподготовке;
- могут нагревать жидкость любого происхождения (вода, нефть, газовый конденсат и др.);
- в отличие от тепловых насосов не требуют низкопотенциального (исходного) источника тепла;
- обеспечивают автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданном диапазоне температур;
- относительно простая конструкция, небольшие размеры и масса;
- экономичны в эксплуатации и обслуживании.

Технологически, можно выделить три конструктивные разновидности ВТ:

- пассивные тангенциальные;
- пассивные аксиальные;
- активные.

В каждом из трех типов ВТ могут дополнительно создаваться специальные режимы работы, способствующие активации жидкости и, как следствие, увеличению тепловыделения. С этой целью задаются неоднородности давления в рабочей камере, возбуждаются автоколебания в жидкости, формируются дополнительные вихревые течения, обеспечиваются ударные торможения встречных струй, производится ультразвуковая обработка жидкости и пр.

Кроме того, каждый ВТ может использоваться в различных тепловых схемах систем теплоснабжения и отопления. И зачастую именно неудачно выбранная тепловая схема может привести к неэффективной работе ВТ.

Основные параметры разрабатываемого нами ВТ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Конструктивно-технологические параметры опытного ВТ

Конструктивно-технологические параметры экспериментального ВТ	Значение	Примечание
Длина трубы, м	0,7	
Диаметр трубы, м	0,12	
Материал трубы (оргстекло): плотность, г/см <sup>3</sup> ударопрочность, КДж/м <sup>2</sup> рекомендуемый нагрев, °С	плексиглас ХТ 1,19 10-12 70-90	
Давление в трубе, атм.	4-5	
Насос (Grandfos): Тип Класс Мощность, kW Источник питание, В Максимальное рабочее давление, кПа	NS BASIC 5-60 F 1,27 220-240 800	
Уровень шума (на расст. 2м) в дБ	75,5	
Блок управления и контроля, шт.	1	Пульт управления (вкл/откл), температурный контроль (термостат)
Линейная скорость потока, м/с	0,25	

Принципиальная схема ВТ установки достаточно проста и имеет характерную общую конструкцию, основные узлы которой состоят из: 1 - блок управления; 2 - гидравлический насос; 3 - бак с водой; 4 - вихревая труба; 5 - дроссель (сопло); 6 – завихритель (рисунок 1).

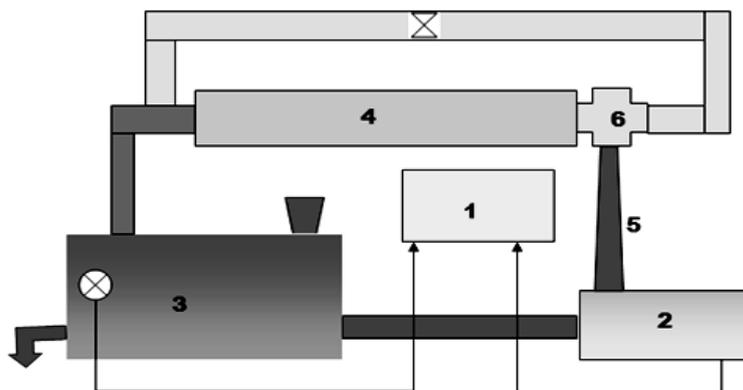


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда VT

Направления потока жидкости после выхода из высоконапорной насосной установки (НУ) в сопло, которое сужается и непосредственно прикреплено к завихрителю. Если завихритель соединить с трубой соответствующего диаметра, поток жидкости продолжит свое движение вдоль трубы с интенсивным вращением вокруг ее оси. Так как струя жидкости за счет центробежных сил вращения разрывается при образовании вихря, внутри самого вихря пониженное давление заставляет соприкасающуюся с ним жидкость интенсивно «закипать», т.е. происходит непрерывный процесс образования кавитационных пузырьков по всей внутренней поверхности соприкосновения вихря со столбом жидкости.

Далее, образовавшиеся микроскопические (размером примерно 0,5-3 микрон) пузырьки, перемешиваясь, насыщают жидкость и уносятся потоком, а на их месте непрерывно образуются новые. Сила поверхностного натяжения в таких пузырьках достигает величины  $104 \text{ кг/см}^2$ . При насыщении всей массы жидкости пузырьками, в ней аккумулируется энергия, которая при схлопывании пузырьков преобразуется в тепловую энергию, нагревая жидкость. Одновременно вращение приводит (на молекулярном, атомном и иных уровнях) к появлению дополнительных связей между микрочастицами жидкости, и интенсивному выделению энергии в виде тепла. Этот процесс происходит при наличии ускорения частиц движущейся жидкости. В этом, и заключается сущность и принципы работы VT.

Общий вид изготовленного экспериментального VT приведен на рисунке 2.

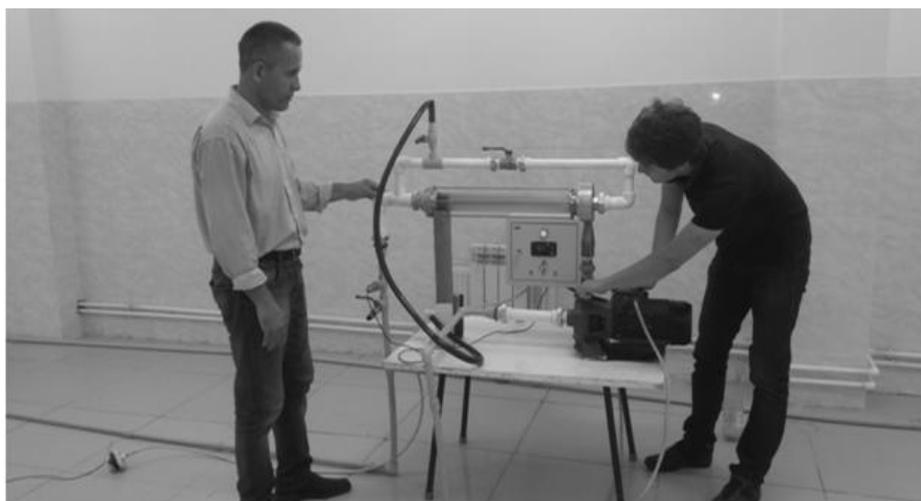


Рис. 2. Общий вид экспериментального VT

Лабораторные экспериментальные испытания разработанного VT, проводились в двух вариантах VT, которые отличались друг от друга подключением теплообменника в системе:

- в первом варианте в качестве теплообменника использовался металлический бак (объемом 15 л) из нержавеющей стали;
- во втором варианте вместо металлического бака использовались последовательно соединённые биметаллические радиаторы (3 шт. по 4 секции в каждом).

Кроме того, первый вариант, в свою очередь, разделялся на исследования VT при неадиабатном процессе и при квазиадиабатном. В качестве режимных параметров были выбраны температура воды в баке и давление на входе в вихревую трубу. Весь процесс нагрева разбивался на временные интервалы по 10 минут. В начале эксперимента и в конце каждого из интервалов замерялись необходимые

параметры температуры на входе и выходе системы. Давление на входе в вихревую трубу поддерживалось постоянным, но величину его можно было регулировать краном. Расчет К.П.Э. производился в конце каждого временного интервала, начиная с первого, но за все предыдущее время эксперимента. Во втором варианте исследований линия кольцевания перекрывалась краном и К.П.Э. рассчитывался при работе установки в комплексе с теплообменником, имитирующим работу системы отопления. В отличие от нее, на теплообменнике можно было изменять потребляемую тепловую мощность путем регулирования расхода охладителя вентилем. Основные режимы работы экспериментальной установки ВТ (контроль параметров температуры и отключение системы) были автоматизированы.

Измерение температуры теплоносителя в баке, стенок бака, изоляции, воздуха в помещении, охладителя на входе и выходе, теплообменника производилось термоэлектрическими термометрами градуировки ХА с выводом сигнала на цифровом терморегуляторе ОВЕН ТРМ 1, которая предназначена для измерения, регистрации или регулирования температуры теплоносителей.

Величину давления на входе в вихревую трубу измеряли образцовым манометром. Электроэнергия, расходуемая при экспериментах, определялась по трехфазному счетчику активной энергии непосредственного включения. Кроме того, для определения коэффициента мощности сети и дублирования показаний счетчика измерялись линейное напряжение и сила тока. Запуск ВТ производился нажатием кнопкой на панели щиток управления, а выключение автоматизировано по заданной температуре теплоносителя. Технологические параметры и характеристики основных блоков собранного ВТ указаны в таблице 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики ВТ

<b>1 Насосная установка, Grandfos, Италия, класс F, тип NSBASIC 5-60.</b>		
1.1	Напряжение, В	220
1.2	Мощность, кВт	1,27
<b>2 Вихревая труба (Ранка-Хилша)</b>		
2.1	Материал трубы	Оргстекло
2.2	Длина, м	0,5
2.3	Диаметр, м	0,068
2.4	Давление (атм.), Па	(4-5 атм), $(4-5) \times 10^5$
2.5	Теплоноситель	Вода
<b>3 Степени автоматизация</b>		
3.1	Температурный контроль (термостат, микроконтроллер, датчики температуры)	Регулируются
3.2	Автоматическая система выключения ВТ по заданным значениям температуры теплоносителя	Регулируется

Исходные данные для проведения предварительных экспериментов и испытания ВТ выбраны следующими:

- объем  $V$  воды в системе -  $15 \text{ л} = 0.0015 \text{ м}^3$ ;
- температура окружающей среды -  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура воды -  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Таким образом, результаты первого варианта испытательного эксперимента на ВТ, т.е. при замкнутой системе, приведены в таблице 3:

Таблица 3. Результаты экспериментального испытания (первый вариант)

Время (в минутах)	Значение температуры (в баке), $^\circ\text{C}$	Объем воды в системе (в литрах)
Включение ВТГ: $t_1 = 11:14$ мин	$T_1 = 22$	15
Отключение ВТГ: $t_2 = 11:36$ мин	$T_2 = 55$	
$\Delta t = t_2 - t_1 = 22$ мин	$\Delta T = T_2 - T_1 = 33$	

Во втором варианте испытательного эксперимента в системе ВТ (подключённой к отопительными биметаллическими радиаторам) были выбраны следующие параметры для проведения расчетов:

- площадь помещения - 67,7 м<sup>2</sup>
- объем помещения - 167,5 м<sup>3</sup>
- температура в помещении - 21 °С
- объем воды в системе - 25 литров
- начальная температура в системе (температуры воды) - T<sub>0</sub> = 19,7 °С
- конечная температуры в системе T<sub>к.т.</sub> = 45 °С
- начало времени (время включение ВТГ) - 11 ч 33 мин
- конечное время (время отключение ВТГ) - 12 ч 53 мин

В таблице 4 приведены результаты проведенных экспериментальных испытаний ВТ.

Таблица 4. Результаты экспериментального испытания (второй вариант)

Последовательность замера	Время,	T, °С ВТ	T, °С 1-й радиатор	T, °С 2-й радиатор	T, °С 3-й радиатор
1	11:30	19,7	19,7	19,7	19,7
2	11:35	26,8	26,8	26,8	26,8
3	11:40	36,5	36	36	36
4	11:45	42,6	42	42	42
5	11:50	45	44,5	44,5	44,5

Расчет К.П.Э. для двух выше упомянутых вариантов проводимых экспериментов, согласно полученным данным (таблицы 3 и 4), проводились следующим образом.

Расчет К.П.Э. ВТ проводился по следующей зависимости:

$$\text{КПЭ} = \frac{Q_1}{Q_2} \times 100\% \quad (1)$$

где Q<sub>1</sub> - полезная энергия, полученная в системе ВТ, Q<sub>2</sub> – энергия, потребляемая центробежным насосом (ЦН).

Значение Q<sub>1</sub> (выработанная полезная энергия) определим по следующей зависимости:

$$Q_1 = cm\Delta T \quad (2)$$

где c-теплоемкость теплоносителя (для воды - 4,2×10<sup>3</sup> Дж/кг×К); m - удельная масса (объем) воды в системе; ΔT - разность температуры в системе до и после включение ВТ.

Величину Q<sub>2</sub> (потребляемая энергия от сети) определяем по формуле:

$$Q_2 = P\Delta t \quad (3)$$

где P - заданная мощность центробежного насоса (P=3,7 кВт); Δt– время работы ВТ.

Таким образом, ниже в таблицах 5 и 6, соответственно, приведены результаты расчетов для первого и второго варианта.

Таблица 5. Расчет К.П.Э. (по первому варианту)

	Время, в минутах	Значение температуры (в бочке), °С	Объем воды в системе (в литрах)
1	Включение ВТГ: t <sub>1</sub> = 11:14 мин.	T <sub>1</sub> = 22	15
2	Отключение ВТГ: t <sub>2</sub> =11: 36 мин.	T <sub>2</sub> = 55	
3	Δt = t <sub>2</sub> - t <sub>1</sub> = 22 минут	ΔT = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> = 33	
К.П.Э ВТ		1,2	

Таблица 6. Расчет К.П.Э. (по второму варианту)

Время,	T, °С ВТ	T, °С, Радиатор № 1	T, °С, Радиатор № 2	T, °С, Радиатор № 3	Объем воды в системе, литр		
1.	11:30	19,7	19,7	19,7	10	15	25
2.	11:35	26,8	26,8	26,8			
3.	11:40	36,5	36	36			
4.	11:45	42,6	42	42			
5.	11:50	45	44,5	44,5			
	Δt=1200 сек	ΔT=25, 3	ΔT=24,8	ΔT=24,8			
К.П.Э:					0,7	1,0	1,7

#### Основные выводы

Как видно из результатов проведенных исследований значения К.П.Э. вихревого теплогенератора, имеет разные значения при различном условии экспериментов. Если используется понятие К.П.Д., то его величина нигде не декларируется больше единицы. Однако значительный разброс значений К.П.Э у различных производителей, связан с отсутствием единой методики расчета, вызывает сомнения в корректности его определения. Многие авторы утверждают, что термин К.П.Э был введен производителями в рекламных целях, так как его заявляемая величина часто превышала единицу. Однако ни в одной из публикаций по вихревым теплогенераторам не приводится методика расчета К.П.Э. и измерения, необходимые для этих параметров. Как показывают результаты исследования, во многих случаях значение К.П.Э. не определяется, а оценивается только работоспособность ВТ. Поэтому, полученные значения К.П.Э. испытуемого нами ВТ можно интерпретировать по-разному, но тот факт, что полученные экспериментальные результаты достоверны, не вызывает никаких сомнений. Однако, как видно из таблицы 6, значения параметров К.П.Э испытуемого ВТ разнятся в зависимости от объема теплоносителя в системе и колеблются от 0,7 до 1,7. Такой предварительно полученный разброс значений К.П.Э ВТ требует проведения дополнительных экспериментов и разъяснения. Общий анализ значений К.П.Э. вихревых теплогенераторов, представленных различными авторами, приводит к следующим выводам:

- значение К.П.Э. однотипных ВТ одного и того же производителя с изменением типоразмера беспорядочно меняется с общей тенденцией увеличения с ростом мощности электрического двигателя;
- значение К.П.Э. для однотипных ВТ одинаковой мощности у различных производителей изменяется в широких пределах;
- величина К.П.Э., присутствующих на рынке ВТ, при правильных измерениях не превышает единицы.

Для сравнительного анализа ниже приведем характеристики некоторых промышленно выпускаемых ВТ разных производителей с опытным образцом ВТ (таблица 7).

Таблица 7. Технические характеристики ВТ различных производителей

Производитель	Марка	Тип активатора	Мощность, кВт	Масса, кг	К.П.Э	КПД	Источник
Опытный образец ВТ		дин.	1,27	35	0,7-1,7		
Россия							
ООО “Тепло XXI века”	ТС-1	стат.	55–250	700–2455	1,3–1,9	–	[5]
ООО “Евроальянс”	МТ	стат.	5,5–55	120–570	1,2	–	[5]
ООО “Нотека-С”	НТК	стат.	5,5–75	50–700	0,98	–	[5]
ООО “Центрлес”	ТГВ	стат.	3–37	50–480	1,6–1,85	–	[5]
ЗАО “Индустр. технологии-21”	ВТГ	дин.	5–75	40–97	–	–	[5]
–	ТГ	стат.	5,5–45	65–550	1,2–1,5	–	[5]
Украина							
ООО “Аквариус-Дельта”	ВТГ	стат.	2,2–250	35–1700	более 1,2	–	[5]
ОАО СКТЬ “Комплекс”	НТГ	дин.	5,5–90	–	1,0	–	[5]
НПП “Институт ТЕКМАШ”	ТЕК	дин.	–	–	–	90 %	[5]
ООО “Гидро-трансмаш”	УГД “Термер”; “Гидро-термер”	дин.	55–630	1000–2500	–	94 %	[5]

#### Список литературы / References

1. Исследование теплогидравлических характеристик низконапорной вихревой трубы для повышения эффективности работы тепловых насосов: Отчет о НИР (промеж) // ТОО ИНТИЭИ; Р.К. Абдрахманов, ГР 0115РК03008, инв. № 0215РК02866. Астана, 2015. 95 с.

2. *Халатов А.А., Коваленко А.С., Шевцов С.В.* Вихревые теплогенераторы в локальных системах теплоснабжения // Пром. теплотехника, 2008. - № 5. С. 7-16.
3. *Суслов А.Д., Иванов С.В., Мурашкин А.В., Чижиков Ю.В.* Вихревые аппараты. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
4. *Eldora C.L., Jose M.L.* Mass, energy, entropy and energy rate balance in a Ranque - Hilsh vortex tube. Journal of Technology and Science Education, 2013. Vol. 33. P. 122.
5. *Пиралливили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н.* Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Под ред. Леонтьева А.И. М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. 412 с.
6. *Меркулов А.П.* Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
7. *Шваб В.В.* Вихревой теплогенератор для систем теплоснабжения. Новости теплоснабжения, 2007. № 8. С. 12–13.
8. *Меркулов А.П.* Вихревой эффект и его применение в технике. Самара: Оптима, 1997. 346 с.
9. Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.03.2016 г.)
10. *Калимуллин Р.Р.* Методика моделирования течения двухфазной жидкости в вихревом теплогенераторе [Текст]: автореферат на соиск. учён. степ. к.т.н. Уфа, 2012. 19 с.
11. *Макарова М.С.* Численное исследование тепловых и динамических процессов в элементах устройств энергоразделения газов: дис. докт. техн. наук. Москва, 2014. 121 с.
12. *Кулжабаев Б.Д.* Исследование конструкторско-технологических особенностей изготовления вихревой турбины микрогидростанции: дис. докт. техн. наук. Алматы, 2009. 126 с.
13. *Бурцев С.А.* Исследование температурного разделения в потоках сжимаемого газа: дис. канд. техн. наук. М., 2001. 124 с.
14. *Макаров М.С.* Газодинамическая температурная стратификация в сверхзвуковых потоках: дис. канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2007. 154 с.
15. *Соловьев А.А.* Численное и физическое моделирование процессов энерго- и фазоразделения в вихревых трубах: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2008. 155 с.
16. Инновационный патент № 20833 KZ Гидродинамический кавитатор / Ревина Н.М. БИ. № 2 от 15.06.2009 г.
17. Патент №2382955RU Способ тепловыделения в жидкости и устройство для его осуществления / Новиков С.А., Кузнецов А.В., Алешин А.А. БИ № 15 от 20.1.2010 г.