

Проректор по учебной работе
ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет»
Денис Сергеевич Гуц



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация «Теоретические и методологические подходы совершенствования кавитационных технологий в промышленной теплоэнергетике» выполнена на кафедре техносферной экологической безопасности.

В период подготовки диссертации соискатель Кулагина Людмила Владимировна обучалась в докторантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», работала в должности доцента кафедры техносферной и экологической безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Моделирование тепломассообменных процессов в технологических печах» защитила в 2010 году, в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный консультант – Штым Константин Анатольевич, доктор технических наук, доцент: федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», директор департамента энергетических систем политехнического института.

На заседании присутствовали: Москвичев В.В., д-р техн. наук, профессор; Кулагина Т.А., д-р техн. наук, профессор; Матюшенко А.И., д-р техн. наук, профессор; Пантелеев В.И., д-р техн. наук, профессор; Тимофеев В.Н., д-р техн. наук, профессор; Андруняк И.В., канд. техн. наук, доцент; Горбунова Д.Н., канд. техн. наук, доцент; Енютина Т.А., канд. техн. наук, доцент; Колот В.В., канд. техн. наук, доцент; Кулагина Л.В., канд. техн. наук, доцент; Марченкова С.Г., канд. техн. наук, доцент; Хаглеев П.Е., канд. техн. наук, доцент; Храмов В.В., канд. техн. наук, доцент; Чурбакова О.В., канд. техн. наук, доцент.

Были заданы вопросы:

1. Вы наглядно показали положительные стороны кавитационной технологии, но в других областях сталкиваются с сугубо отрицательными следствиями кавитации – те же судовые движители, гидравлические системы и т.д. Где та грань между положительными и отрицательными сторонами кавитации? Каковы определяющие параметры?

2. При кавитационном воздействии реализуются поля высоких температур до 2000 градусов и давлений до 10 МПа. Это что, какие-то пороговые значения? И сразу второй вопрос – есть ли возможность вариаций значений температуры и давления? Есть разговоры, что температуры можно получить при этом огромные.

3. Воздействовала ли кавитация на стенки самой камеры, в которой проводилась обработка смесей?

4. За счет чего, какого механизма происходит повышение эффективности сжигания топлива при использовании его в виде водомазутной эмульсии?

5. У вас большой раздел по изучению влияния кавитационного воздействия на свойства воды. Каким образом эти результаты можно перенести на другие среды, в которых качественно могут быть другие ассоциаты, кластеры и тому подобное?

6. Чем достигается фактический экономический эффект. За счет чего улучшена энергетика процесса приготовления эмульсий, по сравнению с другими способами их приготовления.

7. Проводили ли вы сравнительный анализ экологической безопасности предлагаемых и существующих методов обработки.

8. Для численной реализации составленной системы уравнений вы (на стр.16 автореферата) указываете, что «... разработаны алгоритм и программный продукт ...», однако не ясен выбор и обоснование метода решения непростой задачи обтекания суперкавитирующих изолированных профиля и крыла, решеток профилей и пластин.

9. Есть ли прямое подтверждение и обоснование, что изменения физико-химических свойств воды и ее растворов происходит за счет механотермолиза?

10. Каковы критерии, характеризующие энергетические затраты на подготовку водотопливных эмульсий и суспензий, необходимые для расчета экономической эффективности установки?

11. За счет чего, какого механизма происходит снижение зольного остатка при сжигании водоугольной суспензии?

12. В каких областях математической модели проводился расчет гидродинамических характеристик?

13. Какие программные продукты использовались для моделирования термогидродинамических процессов?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности кавитационных технологий обработки многофазных сред (эмульсий, суспензий, водных растворов и систем) в промышленной теплоэнергетике и других отраслях промышленности. Речь идет о разрешении стратегических проблем перехода страны к устойчивому развитию на базе ресурсосберегающих технологий с учетом повышения техносферной

безопасности, что определяется приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в РФ и перечнем критических технологий РФ.

Основополагающие исследования в этой области были выполнены В.М. Ивченко, В.А. Кулагиным, Л.И. Мальцевым, А. Шёргером и др. В частности, была продемонстрирована математическая модель расчета основных конструктивных параметров СК-аппаратов, а также способы ее реализации. Однако полученных данных оказывается недостаточно для достижения значимых практических результатов. Например, несмотря на то что имеющийся экспериментальный материал весьма обширен, до настоящего времени не создано адекватной физической модели процессов, сопровождающих пульсации кавитационного пузырька. Разработка математических моделей потоков многофазной жидкости имеет большое значение в естественных науках и многих инженерных областях, таких как суперкавитация, создание композиционных топливных смесей, опреснение, очистка стоков и т. д. Суперкавитация, обусловленная наличием сложных деформируемых микроструктур, характеризуется наличием парогазовых включений (отдельных пузырей, пузырьковых кластеров и облаков), создает различные формы течения и, как следствие, трудности применения к ней численных методов, по сравнению с ньютоновской жидкостью. Несмотря на большое количество работ в этом направлении, до настоящего времени не разработано надежного метода расчета и рекомендаций по проектированию суперкавитационного (СК) оборудования в каждом отдельном случае.

В связи с этим возникает много важных вопросов в таких областях, как анализ процессов обработки воды, водных растворов и смесей (аэрация, дегазация, смешение жидкостей, химические реакции в потоках и др.); разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий в сфере жизнеобеспечения мегаполисов; кавитационное кондиционирование природных и сточных вод и т. п., ответы на которые должны быть найдены в процессе всесторонних исследований. Отсюда вытекает актуальность работы, посвященной решению проблем повышения энергетической и экологической

эффективности кавитационных технологий обработки многофазных смесей в промышленной теплоэнергетике и других отраслях промышленности.

Личный вклад автора состоит в постановке проблемы и задач исследования, разработке, обосновании и формулировке всех положений, определяющих научную новизну и практическую значимость, постановке экспериментов, анализе и обобщении результатов, формулировке выводов и рекомендаций для принятия решений. Общая научная идея, направления и задачи исследований были сформулированы при участии научного консультанта. В совместных публикациях автору принадлежит до 70–90 % результатов исследований.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением общенаучных методов исследования, обоснованными расчетными схемами и математическими моделями двухфазных суперкавитационных течений, базирующихся на фундаментальных законах физики, гидрогазодинамики, теплофизики и подтверждается метрологическими характеристиками использованного оборудования и приборов, удовлетворительным совпадением результатов расчета с экспериментальными данными, оценкой погрешностей результатов измерений. Выводы достаточно хорошо коррелируют с результатами, полученными другими исследователями, и не противоречат физическим закономерностям в смежных областях знаний.

Научная новизна и положения, выносимые на защиту, состоят в следующем:

1. Уточнена феноменологическая модель суперкавитирующих потоков, отличающаяся от известных, введением понятия микровихрей как квазичастиц жидкости, позволяющая учесть изменения в определении кавитационного сопротивления уже на стадии проектирования СК-аппаратов на базе нового реологического уравнения и тем самым повысить точность расчета кавитационного воздействия на обрабатываемые среды примерно на 10 %.

2. Установлен механизм воздействия ансамбля кавитационно-активных микропузырьков на гомогенные и гетерогенные смеси, заключающийся в синергетическом воздействии:

- на дисперсионную среду – в большинстве случаев это вода, обладающая повышенной растворяющей способностью за счет образования свободных водородных связей вследствие изменения ее структуры;
- на дисперсную фазу (жидкую или твердую) вследствие интенсивного микроперемешивания, или диспергирования.

3. Усовершенствована математическая модель тепломассообменных и гидродинамических процессов в суперкавитирующих испарителях, основанная на предположении локального кинематического и термодинамического равновесия между фазами и отсутствия поверхности раздела между паром и водой. В отличие от известных, предлагаемая модель позволяет на этапе проектирования и в период эксплуатации элементов энергетических систем комплексно оценивать влияние управляющих воздействий на режимы обработки и обеспечивает повышение точности расчетов характеристик процесса.

4. Впервые предложена и обоснована кавитационная технология получения и сжигания БиоВУТ с использованием двухступенчатого процесса суперкавитации для смеси угля с добавлением отходов животноводческих ферм с целью улучшения параметров горения, снижения потерь теплоты за счёт недожога. Проведена сравнительная количественная оценка теплопроизводительности и уровня воздействия на окружающую среду при сжигании традиционных древесных пеллет и пеллет с добавлением отходов животноводческих хозяйств, выраженная в снижении выбросов сажи до 0,75 % по твердым составляющим, концентрация NO_x снижается в 2–5 раз, бенз[а]пирен – в 10–12 раз, СО в 2,5 раза. Верификация и валидация технологии проведена на примере процессов горения в технологической печи.

5. Усовершенствована методика определения эффективности и техносферной безопасности теплотехнологий, состоящая из метода расчета

предотвращенного ущерба окружающей среде, критерия оценки экоэффективности при сопоставлении установок промышленной теплоэнергетики различных конструкций и метода прогнозирования качества атмосферы с помощью рекуррентных нейронных сетей LSTM, отличающегося повышенной точностью и комплексно учитывающий сразу несколько видов метеоданных.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке феноменологических моделей кавитирующей жидкости и механотермолиза воды, заключающиеся во взаимодействии полей высоких температур и давлений, образующихся при схлопывании кавитационных микропузырьков, а также в рекомендациях для проектирования и эксплуатации энергоэффективных промышленных процессов и СК-установок с учетом снижения рисков вредного воздействия на окружающую среду. Научно обоснованы технические решения, внедрение которых не только способствует повышению эффективности и экологической безопасности сжигания органоугольного топлива в топочных устройствах теплотехнологических установок, но и имеет важное значение при решении проблем энергоресурсосбережения в других отраслях производства, где требуется получение гомогенных многокомпонентных смесей – полученные экспериментальные данные, теоретические и методологические подходы создают основу для разработки и создания СК-оборудования, работающего с многофазными потоками

Специальность, которой соответствует диссертация: 2.4.6 – теоретическая и прикладная теплотехника: по п. 1 – ... связи между строением веществ и их феноменологическими свойствами; методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях; 3 – Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси; 4 – Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик

теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах; 9 – ... Математическое моделирование и оптимизация энерготехнологических систем промышленных предприятий ...; 10 – Теоретические аспекты и методы интенсивного энергосбережения в тепловых технологических системах и процессах., ... способствующих защите окружающей среды.

Результаты диссертации использованы при реализации гранта ККФПНиНТД – КФ-260 «Проект программы реконструкции и развития высоконапорной гидравлической лаборатории при плотине Красноярской ГЭС и формирования научного кластера «Чистая энергия Дивногорска» (2012); грантов РФФИ: № 18-41-242004 р_мк «Теоретические основы кондиционирования вод питьевого назначения на базе эффектов гидродинамической кавитации» (2018–2019); № 18-48-242001 р_мк «Теплофизические и гидродинамические особенности кинетики смесеобразования при иммобилизации радиоактивных отходов в цементную матрицу с использованием эффектов кавитации» (2018–2019); № 17-48-240386 р_а «Изучение кинетики смесеобразования и стабилизации высококонцентрированных водоугольных суспензий с применением метода квантовой полирезонансной активации (КПРА) на базе исследований двухфазных суперкавитационных течений» (2016–2018); № 16-41-242156 р_офи_м «Создание новых технологических комплексов на базе эффектов суперкавитации для использования в различных производственных процессах» (2016–2017) и выполнении шести х/д НИР.

Разработанные алгоритмы и программы прошли экспериментальную проверку и используются соответствующими специалистами: при разработке оптимальных режимов управления процессами теплотехнологических агрегатов непрерывного действия ООО «Сибирская генерирующая компания» (СГК), ООО «КрасТЭК», АО «КрасЭко»; при расчетах статических и динамических режимов работы для трубчатых печей, установленных в

технологической цепочке Ачинского НПЗ; при прогнозе неблагоприятных условий в атмосфере мегаполисов ГУ МЧС РФ по Красноярскому краю; при изучении влияния криогенеза на рост микроорганизмов в условиях водозаборных сооружений ООО «КрасКом», АО «Красноярский институт «Водоканалпроект». Математические модели двухфазных суперкавитационных потоков с учетом тепломассообмена легли в основу методов расчета технологического оборудования для кавитационной обработки различных сред ЗАО НПП «Сибэкотехника» и др.

Спроектирована, создана и внедрена промышленная установка обработки многокомпонентных сред (патент на изобретение РФ № 2356611). Разработано и используется устройство для подготовки к сжиганию водотопливной смеси с органическими компонентами (патент на полезную модель РФ № 205015) и топка водогрейного котла малой мощности (патент на полезную модель РФ № 214710). Предложены новые конструкции и наноконпозиции (евразийский патент на изобретение № 019884, патент на изобретение РФ № 2447036), применяемые в различных отраслях производства.

Научные результаты исследований использованы в учебном процессе обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров «Теплоэнергетика и теплотехника» и «Техносферная безопасность» при изучении дисциплин «Автоматизированные системы управления в промышленной теплоэнергетике», «Численные методы моделирования теплотехнологических процессов», «Тепломассообменное оборудование предприятий» (кафедра ТТиГГД ПИ СФУ), «Информационные технологии в сфере безопасности», «Управление рисками, системный анализ и моделирование» (кафедра ТиЭБ ПИ СФУ), а также при создании учебных пособий:

1. Енютина, Т.А. Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности / Т.А. Енютина, Л.В. Кулагина: Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2022. – 190 с. – ISBN 978-5-7638-4599-0.

2. Баранова, М.П. Физико-химические основы промышленных теплотехнологий / М.П. Баранова, Л.В. Кулагина, В.М. Екатеринчев; Красноярск: Изд-во «Гротеск», 2018. – 148 с. – ISBN 978-5-86426-223-8.

3. Кулагин, В.А. Основы кавитационной обработки многокомпонентных сред / В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина. – М.: РУСАЙНС, 2017. – 202 с. – ISBN 978-5-4365-1858-9.

4. Кулагина, Т.А. Кулагина Л.В. Теоретические основы защиты окружающей среды / Т.А. Кулагина, Л.В. Кулагина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 362 с. – ISBN 978-5-7638-3678-3.

5. Экология техносферы / В.В. Гутенев, Л.В. Кулагина, О.Н. Русак [и др.] М.: Изд-во «Маджента», 2008. – 468 с. – ISBN 978-5-98156-084-3 [Рекомендовано Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность»].

6. Демиденко, Н.Д. Моделирование и оптимизация технических систем с распределенными параметрами / Н.Д. Демиденко, Л.В. Кулагина. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 210 с. – ISBN 978-5-7636-0411-3 [Допущено Министерством образования и науки РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Тепловые электрические станции», «Промышленная теплоэнергетика», «Энергетика теплотехнологий» направления подготовки дипломированных специалистов «Теплоэнергетика»] в Политехническом институте СФУ и Омском государственном техническом университете, а также в научно-исследовательской деятельности ПИ СФУ.

Полнота изложения материала. Все новые научные результаты, представленные автором, опубликованы. По материалам диссертации опубликовано 89 печатных работ, из них: четыре монографии, 20 статей в изданиях из Перечня ВАК, 10 статей в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science; 9 патентов РФ на изобретения и полезные модели, один евразийский патент на изобретение, 9 статей в других

изданиях и за рубежом; 31 работа опубликована в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов, а также 6 учебных пособий, два из которых с грифом Минобрнауки РФ. Результаты работы достаточно полно изложены в следующих печатных работах автора:

Монографии:

1. Обращение с отходами нефтепродуктов: Монография / Т.А. Кулагина, Е.Н. Зайцева, В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина, [и др.]; М.: РУСАЙНС, 2024. – 242 с. – ISBN 978-5-466-07508-3.

2. Эксергетический анализ теплотехнологических процессов / А.В. Жуйков, В.С. Калекин, Л.В. Кулагина, Матюшенко А.И.: Монография. М.: РУСАЙНС, 2018. – 130 с. – ISBN 978-5-4365-2608-9.

3. Fundamentals of Cavitation Treatment for Multicomponent Environments / V.A. Kulagin, L.V. Kulagina, Li Feng-Chen. M.: RU-SCIENCE, 2017. – 182 p. – ISBN 978-5-4365-1862-6.

4. Кулагина, Л.В. Крупномасштабные гравитационные гидродинамические трубы: Монография / Л.В. Кулагина; Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – Гл. 5. 176–224. – ISBN 5-7636-0904-2 (978-5-7636-0904-2).

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, из Перечня

ВАК:

5. Енютин Т.А., Кулагина Л.В., Марченкова С.Г., Гафуров М.М. Предохранительное устройство для защиты топливных трубопроводов. Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 2. 408–411. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-408-409. IF 0,153, ВАК К2.

6. Кулагина Л.В., Башун В.И., Кубик Н.Р., Лазанская Е.И. Обоснование технологии защиты поверхности металла в проточном тракте гидротурбины для уменьшения кавитационного износа. Справочник. Инженерный журнал (с приложением). 2024. № 6. 37–44. DOI: 10.14489/hb.2024.06.pp.037-044; IF 0.267, ВАК К2.

7. Кулагина Т.А., Зайцева Е.Н., Дубровская О.Г., Кулагина Л.В. Утилизация отработанных нефтепродуктов и кондиционирование промышленных стоков на

базе кавитационной технологии в условиях циркумполярных территорий. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2024, 17(4), 414–428. EDN: OHIJJZ; IF 0.568, BAK **K1**, WoS: RSCI.

8. Енютина Т.А., Кулагина Л.В., Гафуров М.М. Использование эффекта Ранка-Хилша в практике ликвидации чрезвычайных ситуациях, Справочник. Инженерный журнал (с приложением). 2023. № 11. 50–54. DOI: 10.14489/hb.2023.1.P.050-054. IF 0.267, BAK **K2**.

9. Кулагина Л.В., Пьяных Т.А., Штым К.А. Моделирование суперкавитационных течений в опреснительных установках с учетом термодинамических эффектов, Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2023, 16(3). 372–386. EDN: FKUSSI; IF 0.444, BAK **K1**, WoS: RSCI.

10. Radzyuk A.Yu., Istyagina E.B., Kulagina L.V. et al. Determining properties of a flow-through supercavitation desalination plant. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol. 2023, 16(1), 6–21. EDN: GSDAGT; IF 0.658, BAK **K1**, WoS: RSCI.

11. Радзюк А.Ю., Истягина Е.Б., Кулагина Л.В. и др. Синтез-анализ использования кавитационных технологий, Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(7). 774–801. DOI: 10.17516/1999-494X-0435; IF 0.588, BAK **K1**, WoS: RSCI.

12. Кулагина Л.В., Штым К.А., Кириллова И.В. Совершенствование технологии производства тепловой энергии с использованием биомассы. Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 2(26). 104–114; DOI: 10.38028/ESI.2022.26.2.010.

13. Радзюк А.Ю., Истягина Е.Б., Кулагина Л.В. и др. Современное состояние использования кавитационных технологий (краткий обзор), Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 9. 209–218 DOI 10.18799/24131830/2022/9/ 3623; IF 1.3, BAK **K1**.

14. Kulagina L.V., Shtym K.A. Flow past various types of vane mechanisms by a two-phase compressible flow. J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2022, 15(4), 505–520. DOI: 10.17516/1999-494X-0409. IF 0.588, BAK **K1**, WoS: RSCI.

15. Штым К.А., Соловьёва Т.А., Кулагина Л.В. и др. Формирование осесимметричного закрученного потока в циклонно-вихревом предтопке мощностью 65 МВт, Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2022. 15(4), 448–458. DOI: 10.17516/1999-494X-0406; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

16. Кулагина Л.В. Параметрическое описание явлений кипения и кавитации, Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2018. 11(5). 578–583. DOI: 10.17516/1999-494X-0056; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

17. Джундубаев А.К., Мурко В.И., Кулагина Л.В. и др. Режимы течения топливных водоугольных суспензий в каналах распыливающих устройств, Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2018, 11(2), 242–249. DOI: 10.17516/1999-494X-0027; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

18. Ivchenko O.A., Kulagina L.V. Current trends of membrane technology development, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2017. 10(1), 24–35. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-1-24–35; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

19. Kulagin V.A., Kulagina L.V., Li Feng-Chen. Solution of the problem of flow past a wing profile near the interface, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2017, 10(4), 523–533. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-4-523-533; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

20. Kashkina L.V., Stebeleva O.P., Kulagina L.V. et al. Recycling carbonaceous materials by cavitation nanotechnology techniques, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2011. 4(5) 358–372; IF 0.588, БAK K1, WoS: RSCI.

21. Стебелева О.П., Кашкина Л.В., Кулагина Л.В. и др. Получение углеродосодержащих наноструктур методами кавитационной технологии, Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 12. 34–38.

Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science:

1. Svetlana Marchenkova, Liudmila Kulagina, Tatiana Kulagina et al. Analysis of quality indicators of oils during continuous heating before deodorization. BIO Web Conf. **105**, 02001 (2024) AEGISD-IV2024; doi.org/10.1051/bioconf/202410502001. SCOPUS Q4, WoS.

2. Radzyuk A.Yu., Istyagina, E.B., Kulagina, L.V. et al. The current state of the use of cavitation technologies (brief review), Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2022. V. 333. No 9. 209–218; DOI 10.18799/24131830/2022/9/3623; BAK **K1**, SCOPUS IF 1.3, **Q2**, WoS.

3. Kulagina L.V., Kulagina T.A. LSTM Forecasting: Time Series Forecasting to Predict Concentration of Air Pollutants (CO, SO₂, NO and NO₂) in Krasnoyarsk, Russia. Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems: Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021, Vol. 3; Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS, vol. **228**), 2021, 191–198; doi: 10.1007/978-3-030-77448-6_17. SCOPUS **Q4**, WoS.

4. Liudmila Kulagina, Tamara Yenutina, and Irina Kirillova Increasing the energy efficiency and environmental safety of the operation of small-volume furnaces by adding a water-fuel mixture and organic components. E3S Web of Conferences **295**, 02002 (2021), (WFSDI 2021); doi.org/10.1051/e3sconf/ 202129502002; SCOPUS **Q4**, WoS.

5. Yu-Ke Li, Feng-Chen Li, Kulagina L.V. et al. Numerical study on secondary flows of viscoelastic fluids in straight ducts: Origin analysis and parametric effects, Computers and Fluids. 152 (2017) 57–73, doi: 10.1016/j.compfluid.2017.04.016; BAK **K1**, SCOPUS IF 2.767, **Q1**, WoS.

6. Kulagina L.V. and etc. Mathematical models of stationary and dynamic processes in process furnaces, Chem Petrol Eng. May 2017, Vol. 53, Issue 1, 78–83. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0298-6>; BAK **K1**, SCOPUS IF 0.562, **Q3**, WoS.

7. Kashkina L.V., Stebeleva O.P., Kulagina L.V. et al. Preparation of carbon-containing nanostructures by cavitation technology, Chem Petrol Eng, March 2011, Vol. 46, Issue 11, 767–773. Doi: 10.1007/s 10556-011-9415-0, BAK **K1**, SCOPUS IF 0.562, **Q3**, WoS.

8. Kulagina L.V., Lishachev D.S. Method of solving problems of flow past a cascade of supercavitating blades in hydrodynamic reactors, Chem Petrol Eng. 2009. Vol. 45. № 9. 603–608. Doi: 10.1007/s 10556-010-9245-5, BAK **K1**, SCOPUS IF 0.562, **Q3**, WoS.

9. Kulagina L.V. Mathematical Modeling of Control Systems for Production Processes with Distributed Parameters, Chem Petrol Eng, May 2007, Vol. 43, Issue 5, 319–322. DOI: 10.1007/s10556-007-0057-1, BAK **K1**, SCOPUS IF 0.577, **Q3**, WoS.

10. Kulagina L.V. et al. Optimal Control of Thermalengineering Processes in Tube Furnaces, Chem Petrol Eng. March 2006, Vol. 42, Issue 3, 128–130. DOI: 10.1007/s 10556-006-0065-6, BAK **K1**, SCOPUS IF 0.577, **Q3**, WoS.

Патенты:

11. Зайцева Е.Н., Кулагина Т.А., Кулагина Л.В. Программный комплекс для моделирования экологии водного объекта. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024615022. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». Заявка № 2024613650; заявл. 2024.26.02. Публ. и выдача пат. 2024.01.03.

12. Кулагина Л.В., Шефер Э.А. Программный комплекс мониторинга теплового режима в производственных помещениях. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611904. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». № 2024610862; заявл. 2024.01.22 Публ. и выдача пат. 2024.01.25.

13. Енютина Т.А., Кулагина Л.В., Забиров А.В., Марченкова С.Г. Устройство для регулирования малых расходов потоков. Патент на изобретение РФ № 2793425. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». № 2022103954; заявл. 2022.15.02. Публ. и выдача пат. 2023.04.03.

14. Кулагина Л.В. Программа для прогнозирования качества воздуха на основе модели машинного обучения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616496. Заявитель и

патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». № 2023611680; заявл. 2023.01.02. Публ. и выдача пат. 2023.28.03.

15. Кулагина Л.В., Кириллова И.В. Программа для прогнозирования и мониторинга термоточек, в том числе техногенного происхождения (объекты теплоэнергетики). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665492, правообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»; заявка № 2023664095 от 05 июля 2023, госрегистрация 17 июля 2023.

16. Енютина Т.А., Кулагина Л.В., Кириллова И.В. Устройство для подготовки к сжиганию водотопливной смеси с органическими компонентами, Патент на полезную модель № 205015. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». № 2020104971; заявл. 2021.02.25. Публ. и выдача пат. 2021.06.23.

17. Енютина Т.А., Кулагина Л.В., Марченкова С.Г. и др. Топка водогрейного котла малой мощности, Патент на полезную модель № 214710. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». № 2022119933; заявл. 2022.07.19. Публ. и выдача пат. 2022.11.11.

18. Кашкина Л.В., Стебелева О.П., Кулагина Л.В. и др. Композиция для получения строительных смесей, Евразийский патент на изобретение № 019884, В1. Заявитель и патентовладелец ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». № 201101292; заявл. 2011.10.06. Публ. и выдача пат. 2014.07.30.

19. Кашкина Л.В., Стебелева О.П., Кулагина Л.В. и др. Композиция для получения строительных смесей, Патент на изобретение РФ №2447036, МПКС04В 28/02. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2010121108/28(029986); заявл. 25.05.2010. Оpubл. 10.04.2012. Бюл. № 10. – 4 с.: ил.

20. Кулагина Л.В., Лихачев Д.С. Кавитационный смеситель, Патент на изобретение РФ № 2356611, МПК В 01 F 5/00. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – 2008108646/15; заявл. 05.03.2008; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15. – 6 с.: ил.

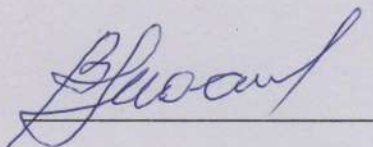
Апробация результатов.

Основные положения работы, результаты теоретических, вычислительных и экспериментальных исследований докладывались и обсуждались: на VIII, IX и XVIII Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Решетнёвские чтения» (Красноярск, 2004, 2005, 2014), International SYMKOM'05 и International SYMKOM'08 (Poland, Lodz, 2005, 2008), Всерос. НТК «Социальные проблемы инженерной экологии, природопользования и ресурсосбережения» (Красноярск, 2003–2005), V–VIII Всерос. НПК и выставках по проблемам энергоэффективности (Красноярск, 2004–2007), III Науч. конф. с междунар. участием «Современные наукоемкие технологии» (Египет, Хургада, 2005), Межрегион. НПК «Инновационное развитие регионов Сибири» (Красноярск, 2006), V и VI Школах-семинарах молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова (Казань, 2006, 2007), III Междунар. летней научной школе «Гидродинамика больших скоростей и численное моделирование» (Кемерово, 2006), VI Междунар. НПК «Экология и безопасность жизнедеятельности» (Пенза, 2007), Междунар. конгрессе «Энергетика в глобальном мире», НТК «Гидродинамика больших скоростей» (Красноярск, 2010), 10th European Fluid Mechanics Conference (EFMC10, Denmark, Lyngby, Copenhagen, 2014), World Congress and Expo on Oil, Gas and Petrochemistry (Dubai, UAE, 2015), VII Междунар. НПК «Экологические и экономические приоритеты альтернативной, малой распределенной энергетики» (Красноярск, 2020), 10th Computer Science On-line Conference Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems (Krasnoyarsk, 2021), 10th Computer Science On-line Conference CSOC-2021 (Zlin, 2021), EPS Web of Conferences WFSDI-2021 (2021), III International Scientific Conference «Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources» (St-Petersburg, 2021),

Межрегион. конф. «ЖКХ. Энергетика. Экология» (Красноярск, 2021), III и IV Всерос. НТК с междунар. участием «Борисовские чтения» (Красноярск, 2021, 2023), XVIII Междунар. молодежном научном экологическом форуме стран Балтийского региона «ЭКОБАЛТИКА» (Санкт-Петербург, 2021), XIII Сибирском энергетическом форуме (Красноярск, 2022), I Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Енисейская ТеплоФизика» (Красноярск, 2023), Междунар. науч. конф. «Безопасность жизнедеятельности и климатические риски развития территории Енисейской Сибири» (Красноярск, 2023), VIII Всерос. конф. с междунар. участием «Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем» (Красноярск, 2023), Китайско-российском форуме по фундаментальному исследованию и применению гидравлической кавитации на основе технологий AI (Харбин, Китай, 2023), Третьем Китайско-Российском научно-техническом форуме «Наукоёмкие технологии: от науки к внедрению» (Харбин, Китай, 2023), Междунар. НПК «Современные географические исследования: теория практика, инновации» (Самарканд, Узбекистан, 2023), XV–XX Междунар. науч. конф. студ., аспирантов и молодых ученых «Перспектива Свободный» (Красноярск, 2019–2024), IV International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure for Sustainable Development (AEGISD-IV 2024), 24-й Междунар. научной конференции «Сахаровские чтения 2024 года: экологические проблемы XXI-го века» (Минск, Беларусь, 2024), Китайско-восточно-европейской конференции по обмену экспертами (Харбин, Китай, 2024), VI Всерос. НПК Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций (Красноярск, 2024), Междунар. научно-техническом симпозиуме «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны (Москва, 2024).

Диссертация «Теоретические и методологические подходы совершенствования кавитационных технологий в промышленной теплоэнергетике» Кулагиной Людмилы Владимировны рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Заключение принято на заседании кафедры техносферной и экологической безопасности. Присутствовало на заседании 14 чел., в голосовании приняло участие 13 чел. Результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 19 от 18.06.2024.



Москвичев Владимир Викторович – д-р техн. наук,
профессор, Заслуженный деятель науки РФ, профессор
кафедры техносферной и экологической безопасности



ФГАОУ ВО СФУ	
Подпись <u>Москвичев ВВ</u>	заверяю
Долгопроизводитель	
«9» июля	2024 г.