

2.4. ЛАБОРАТОРИЯ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Заведующий д. т. н. М.И. Низовцев

тел. (383) 316-53-36

Основные направления деятельности

- Экспериментально-теоретические исследования и их практическая реализация в области теплообменного оборудования и строительной теплофизики
- Исследование процессов интенсификации тепло- и массообмена в пористых материалах и многофазных потоках
- Развитие научных подходов при решении инженерных задач энерго- и ресурсосбережения
- Разработка приборов и измерительных средств для теплофизических экспериментов

Результаты научно-исследовательских работ 2020 г.

Проект: Ш.18.2.4: **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАС-СООБМЕНА С ЦЕЛЮ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ, СТРОИТЕЛЬСТВА, ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ** (Гос. рег. АААА-А17-117022810196-0, ГЗ 0322-2016-0012)

Задание: Выполнить экспериментальные исследования испарения капель жидкостей на гидрофобных и структурированных поверхностях.

С использованием бесконтактных измерительных методов был выполнен цикл экспериментальных исследований испарения капель воды, лежащих на гладкой и структурированной поверхностях. В качестве поверхности, на которой исследовалось испарение капель, использовалась пластина из фторполимера Teflon AF 1600. Данный материал обладает низкой поверхностной энергией (15,7 мН/м) и является гидрофобным (краевой угол смачивания 104°). Teflon AF 1600 используется для создания защитных покрытий электронных и электронно-оптических устройств. На пластине из фторполимера Teflon AF 1600 в Институте физики полупроводников СО РАН методом штамповой нанолитографии были изготовлены образцы со структурированной поверхностью. На рис.1 представлено изображение изготовленной поверхности, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Поверхность пластины представляет собой многоуровневые неупорядоченные структуры со столбиками размером ≈ 1 мкм и высотой $2 \div 4$ мкм.

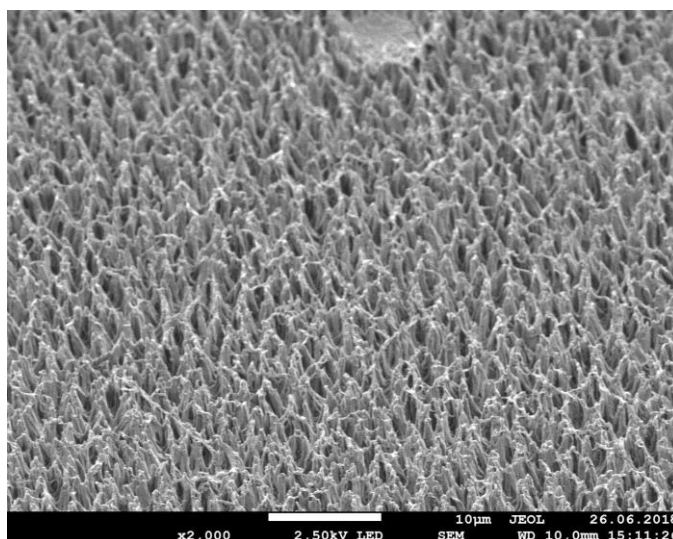


Рис.1. СЭМ изображение структурированной поверхности фторполимера Teflon AF 1600

Эксперименты проводились при постоянной температуре и влажности окружающего воздуха, $t_a = 24^{\circ}\text{C}$, $\phi = 26\%$. Для данных условий эксперимента температура адиабатного испарения составляет $t_m = 12,7^{\circ}\text{C}$. В течение эксперимента процесс испарения капель регистрировался цифровым микроскопом KS-is Digi-score II и тепловизионной камерой NEC TH 7102WV. Полученные данные показали, что форма капель воды, лежащих на гладкой и структурированной поверхностях, существенно отличалась. На гладкой поверхности краевой угол смачивания составлял 104° , а на структурированной поверхности 141° .

При испарении капель методом инфракрасной термографии в различные моменты времени определялось распределение температуры на поверхности капель. На основании выполненных экспериментов были получены зависимости изменения средних температур поверхностей капель воды объемом 5 мкл, лежащих на различных поверхностях (рис. 2).

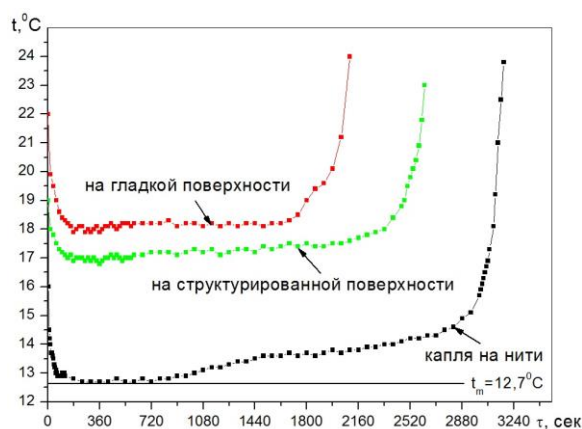


Рис. 2. Изменение температуры поверхности испаряющихся капель воды

Из анализа данных, представленных на рис. 2, следует, что динамика изменения температуры капель воды, лежащих на различных поверхностях, существенно отличалась. При этом в характере изменения температуры поверхности для гладкой и структурированной поверхностях можно условно выделить три стадии: начальный участок резкого падения температуры; стадия постоянной температуры, и стадия плавного повышения до температуры окружающего воздуха. Значительно отличается время испарения капель, при одинаковом их объеме. Капля воды на гладкой поверхности полностью испарялась за 2100 секунд, а на структурированной поверхности за 2620 секунд. Полученные результаты показывают, что в процессе испарения отличались температуры поверхности капель на стадии с постоянной температурой: для гладкой поверхности это около $18,2^{\circ}\text{C}$, для структурированной $17,0^{\circ}\text{C}$. Поскольку форма капель, лежащих на данных поверхностях существенно отличалась, очевидно, эти отличия обуславливали подвод тепла к каплям от поверхности. Чем больше была площадь пятна контакта, тем больше был подвод тепла к капле от поверхности, и тем выше была температура капли на стадии с постоянной температурой поверхности. Более существенное понижение температуры почти до температуры мокрого термометра $t_m = 12,7^{\circ}\text{C}$ в аналогичных условиях наблюдалось для капли, подвешенной на тонкой нити из полипропилена. В данном случае подвод тепла был минимальный и условия испарения капли были максимально приближены к испарению свободной капли. В результате время испарения капли воды аналогичного объема было существенно больше, и составляло 3170 секунд.

Задание: Выполнить экспериментальные исследования испарения подвешенных капель воды с добавлением наночастиц SiO_2 с весовой концентрации 0.1%, 0.5%, 1%.

Экспериментально обнаружен эффект, проявляющийся при испарении подвешенной капли наножидкости малой концентрации, состоящей из смеси воды и частиц SiO_2 (средний размер 12 нм) массовой концентрации 0.1 %. Необычность процесса испарения заключается в том, в условиях свободной и слабо вынужденной конвекции ($\text{Re} < 10$) капля наножидкости испаряется медленнее капли базовой жидкости, а динамика изменения диаметра и температура поверхности капли при испарении подобны испарению капли смеси чистых жидкостей с разной степенью летучести.

Проведенные исследования показали, что обнаруженные особенности испарения наножидкости с частицами SiO_2 имеют место при заданной концентрации и определенных внешних условиях испарения. Особенности при испарении капли в условиях естественной конвекции сохранялись при изменении концентрации частиц SiO_2 в небольшом диапазоне от значения 0.1 вес.% (0.09 вес.% и 0.12 вес.%) (рис. 3). Наблюдалось замедление испарения капель наножидкости данной концентрации в сравнении с испарением капель базовой жидкости. Кроме того, зависимость испарения имела заметное отклонение от линейной зави-

симости. Повышение концентрации частиц SiO_2 до 0.13 вес.% приводило к тому, что испарение капли было подобно испарению капли воды.

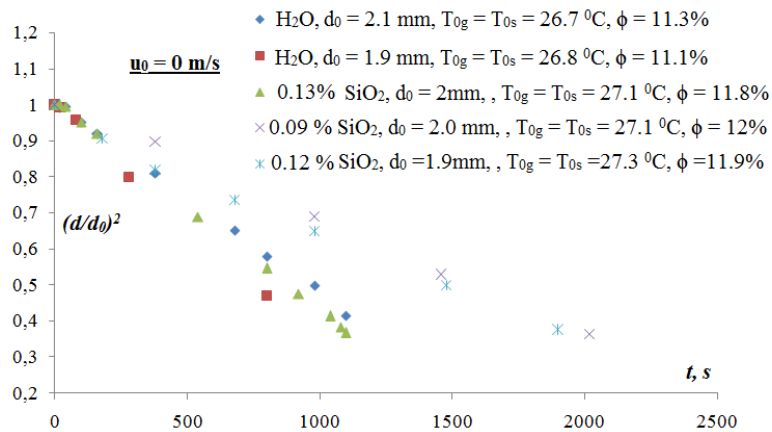


Рис. 3. Динамика испарения каплей воды и смеси воды с наночастицами SiO_2 с концентрацией 0.09 - 0.13 вес.%

В условиях свободной или слабо вынужденной конвекции (скорость потока $u_0 = 0.1 \text{ м/с}$) испарение каплей наножидкости с концентрацией 0.5 wt % и 1 wt % не имело никаких особенностей и совпадало с динамикой испарения каплей воды. Повышение скорости обдувающего потока выше $u_0 = 0.1 \text{ м/с}$ (рис. 4) показало, что испарение каплей наножидкости с концентрацией 0.1 вес.% частиц SiO_2 не имело особенностей. В тоже время, изменение диаметра каплей при испарении каплей наножидкости с частицами оксида железа Fe_3O_4 с концентрацией 0.1 вес.% (рис. 4) имело схожий характер с изменением диаметра капли наножидкости с частицами SiO_2 такой же концентрации, но в неподвижной и слабо подвижной среде.

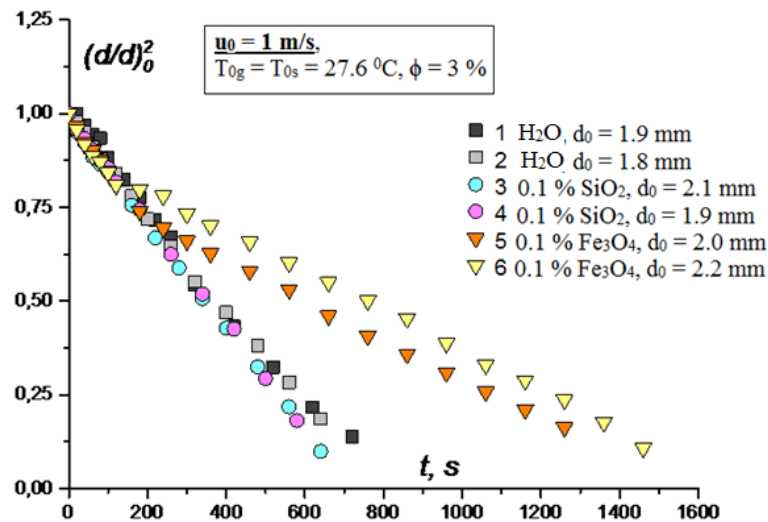


Рис. 4. Изменение относительного диаметра каплей воды и наножидкостей с частицами SiO_2 и Fe_3O_4 с весовой концентрацией наночастиц при скорости потока 1 м/с

Из полученных экспериментальных результатов следует, что обнаруженные особенности при испарении капель характерны для наножидкостей с небольшой концентрацией наночастиц, и зависят от типа наночастиц и внешних условий испарения.

Задание: Исследовать влияние на определение эффективной вязкости неньютоновской жидкости течений, генерируемых неравномерностью температуры в линейной щели поточного вискозиметра. Сопоставить с данными для ротационного вискозиметра.

На модернизированном гидродинамическом стенда ИТ СО РАН в режиме регулируемой температуры эталонной жидкости в смеси с индустриальным маслом И-50А прошли испытания способа и устройства для измерения действующего значения вязкости жидкости, которые могут быть использованы для любой неньютоновской жидкости или нефте-водо-газовой смеси, извлекаемой из нефтяной скважины. Испытания прибора показали, что вискозиметр позволяет регистрировать действующее значение вязкости неньютоновской жидкости в диапазоне $3-30 \cdot 10^6$ м²/с с абсолютной погрешностью $\pm 2\%$ и вносить поправку по температуре смеси с погрешностью измерения температуры 0,5%.

Выполненные измерения с применением ротационного вискозиметра типа Covimat 205 DD показали, что относительная погрешность результатов измерения кинематической вязкости неньютоновской жидкости (индустриальное масло И-50А 70% - вода 30%) с помощью сужающего устройства, отнесенная к верхней границе выбранного диапазона измерения кинематической вязкости в указанных условиях не превышает величины $\pm 2\%$. На рис.5 приведены результаты сличения значения измеренной с помощью калиброванного СУ вязкости индустриального масла И-50А с показанием образцового вискозиметра.

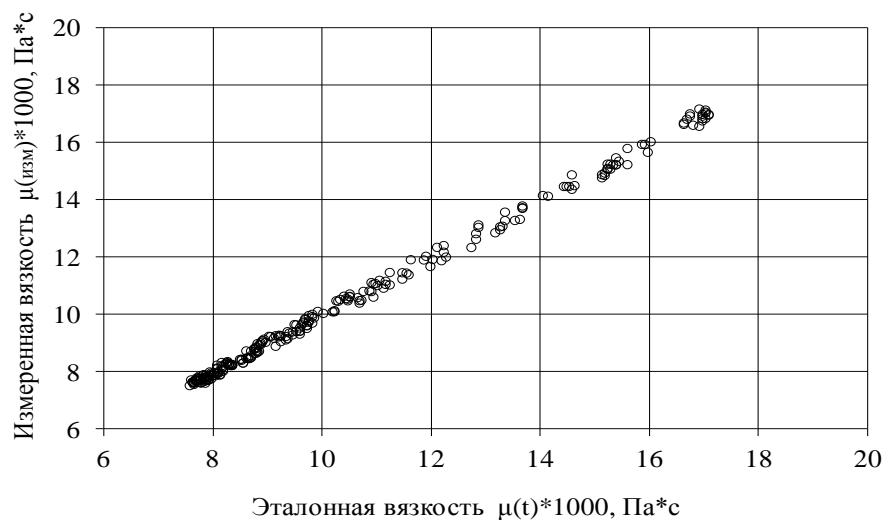


Рис. 5. Результаты сличения показаний

Получено решение о выдаче патента от 01.10. 2020 на изобретение «Поточный прибор для измерения вязкости ньютоновских и неньютоновских жидкостей с помощью сужающего устройства».

Задание: Создать экспериментальный стенд для исследования равномерности распределения жидкости в насадке рекуперативного воздушного теплообменника с капельным орошением. Провести эксперименты по определению режимных и конструктивных параметров с целью увеличения поверхности межфазного контакта.

Собран и запущен в работу новый экспериментальный стенд для исследования параметров регенеративных воздухо-воздушных теплообменников с капельным орошением (рис.б). Основу стенда составляют две цилиндрические колонки, заполненные засыпкой керамзитового гравия, в которой происходят тепло- и влагообменные процессы.

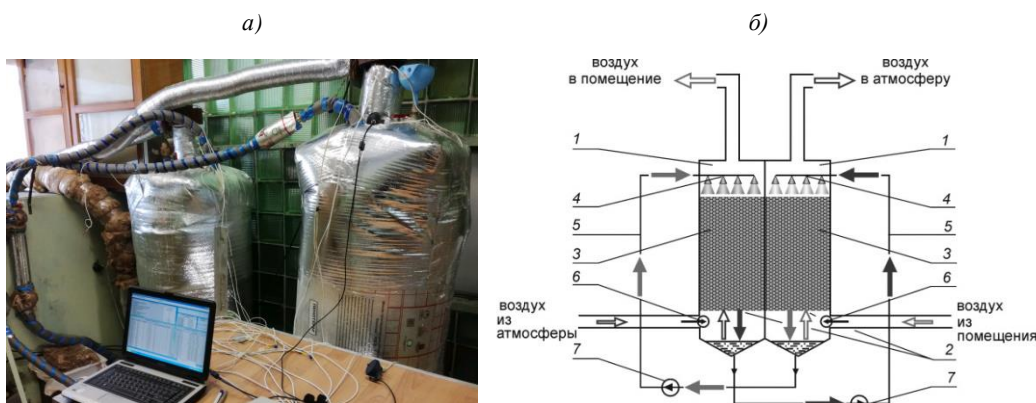


Рис.б. Экспериментальный стенд для исследования параметров регенеративных воздухо-воздушных теплообменников с капельным орошением: а) фото стенда, б) принципиальная схема: 1 – корпус колонны, 2 – решетка, 3 – насадка, 4 – ороситель, 5 – трубопровод, 6 – воздушные вентилятор, 7 – водяной насос

Проведены первые эксперименты при расходе воздуха 130 м³/час и раствора CaCl₂ плотностью 1.27 кг/литр от 40 до 110 л/час через каждую из колонок.

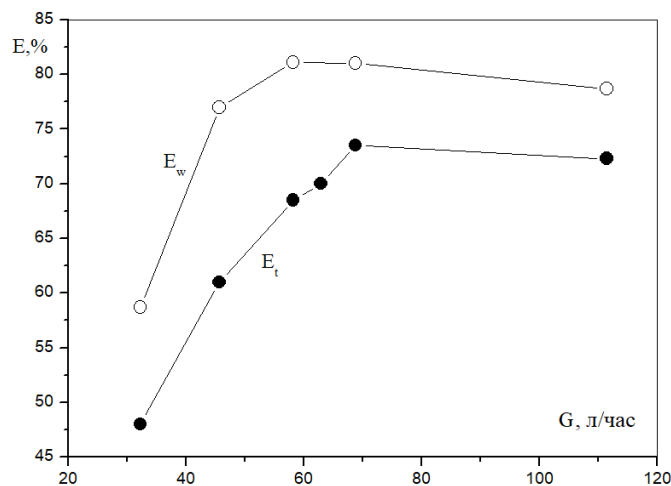


Рис.7. Зависимость тепловой и влажностной эффективности от расхода солевого раствора

Согласно результатам экспериментов для греющей колонны тепловая (E_t) и влажностная (E_w) эффективности увеличивались с ростом расхода солевого раствора до 70 л/час (рис.7). При дальнейшем росте расхода солевого раствора обе эффективности начинали постепенно снижаться. Зафиксирована максимальная тепловая эффективность греющей колонки 72%, а влажностная 81%. В экспериментах обнаружено, что при работе теплообменника в холодный период года греющая колонна увеличивала не только температуру, но и существенно абсолютную влажность воздуха, поступающего в помещение. Таким образом, регенеративный воздушно-воздушный теплообменник одновременно выполняет важную функцию увлажнения воздуха в помещении в холодный период года.

Задание: Разработать и создать универсальную автоматизированную систему регистрации и архивирования температуры, влажности и давления в пористых материалах.

Разработано устройство для инструментального оснащения широкого круга экспериментальных исследований в области теплофизики. За счет применения микропроцессорного контроллера ATmega 2560 устройство имеет возможность получать данные от датчиков температуры, давления, влажности, как в аналоговом, так и цифровом исполнении. Аппаратно-программное обеспечение дает возможность увеличивать количество первичных датчиков. Устройство может функционировать в автономном режиме с выводом измеренной информации на ЖК-дисплей и в комплексе с персональным компьютером, передавая ему первичные данные для архивирования и дальнейшей обработки.

Программное обеспечение контроллера ATmega 2560 создано в среде разработки Arduino IDE, используя язык программирования C++. Программное обеспечение для компьютера системы сбора данных разработано в среде разработки Labview 2016.

Структурная схема измерителя приведена на рис.8. Основным оборудованием устройства является микропроцессорного контроллера ATmega 2560. На плате контроллера предусмотрено: 54 цифровых входа/выхода, 16 аналоговых входов, разъём для программирования USB и связи с компьютером, внешний разъём питания. Характеристики контроллера обеспечивают возможность достаточно быстрого дооснащения всего оборудования дополнительными первичными датчиками. Контроллер предоставляет 256 КБ Flash-памяти для хранения прошивки, 8 КБ оперативной памяти SRAM и 4 КБ энергонезависимой памяти EEPROM для хранения данных. Это позволяет измерительному оборудованию функционировать в автономном режиме, т.е. получать данные о физических параметрах и хранить во внутренней памяти, так и предавать в режиме реального времени данные в компьютер для архивации и дальнейшей обработки.

Термопары К-типа подключены к микроконтроллеру через специализированное оборудование – Интерфейсная плата на базе микросхемы MAX31855. Применение данного оборудования избавляет от необходимости разрабатывать специальные схемы для измерения температуры «холодного» спая термопары. Микросхема MAX31855 выполняет компенсацию холодного спая перехода автоматически. Преобразователь позволяет измерять температуру в диапазоне от -270°C до 1800°C с разрешающей способностью до 0.25°C .

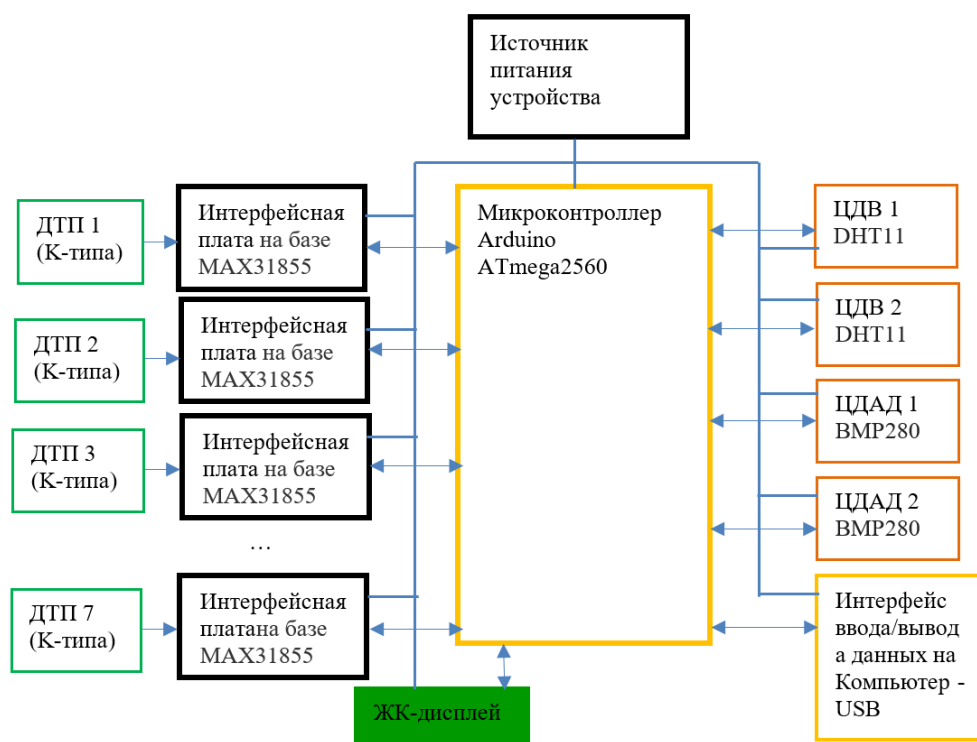


Рис. 8. Блок-схема измерительного оборудования

Дополнительно измерительное оборудование оснащено цифровыми датчиками влажности и давления. Допустимое расстояние соединительных проводов от первичного датчика до контроллера составляет 20 м.

Перечень проектов, выполняемых сотрудниками лаборатории

Проект РФФИ: **Исследование совместного тепло- и влагопереноса в новых системах утепления зданий.** (19-48-540012 p_a, рук. Низовцев М.И.)

Проект РФФИ: **Нагрев и испарение капель жидкости с наночастицами: экспериментальное исследование и моделирование.** (№ 20-58-10003 КО_a, рук. Терехов В.В.)

Проект РФФИ: **Тепломассоперенос при испарении пленок бинарных и многокомпонентных растворов жидкостей на модифицированных и капиллярно-пористых поверхностях.** (№ 20-08-00717 А, рук. Терехов В.И.)

Международные связи

Выполняются работы по международному контракту с фирмами «Air Products» (США).

Связи с вузовской наукой

С Алтайским государственным техническим университетом совместная кафедра в ИТ СО РАН и проблемная лаборатория в АлтГТУ. Низовцев М.И. – заведующий совместной кафедрой теплофизических, химических и экологических проблем в энергетике, технологии и тепловых двигателях.

Назаров А.Д. – заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин Высшего колледжа информатики Новосибирского государственного университета.

Серов А.Ф. – профессор кафедры технической теплофизика Новосибирского государственного технического университета.

Публикации и патенты

Монографии – 1

Центральные журналы – 3

Международные журналы – 8

Патенты – 1

Доклады на конференциях и совещаниях

Международных – 1

в т.ч. плен. – 1

Всероссийских – 17

в т.ч. секц. – 11

стен. – 6

Работа в научных и диссертационных советах, редакциях журналов

Низовцев М.И. – член специализированного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций Д 003.053.01 в ИТ СО РАН; член специализированного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций Д.212.173.02 в НГТУ, член Национального комитета по тепломассообмену РАН, член редколлегии международного журнала «Journal of Construction Research».

Серов А.Ф. – член межведомственного диссертационного совета Д.01.05.306 при Государственном университете им. К. Тынытстанова Республики Казахстан.

Огородников И.А. – член межведомственной рабочей группы Научного совета СО РАН по проблемам озера Байкал

Экспертная деятельность

Низовцев М.И. – эксперт Российской академии наук, эксперт РФФИ.

Назаров А.Д. – эксперт РФФИ.

Огородников И.А. – эксперт Новосибирского областного инновационного фонда

Подготовка отзывов официальных оппонентов на диссертационные работы

Оппонент: Назаров А.Д., соискатель: Аль-Джанаби Акрам Хамзах Абед, «Интенсификация теплообмена энергетического оборудования АЭС с использовани-

ем водовоздушного аэрозоля», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Подготовка отзывов на авторефераты диссертационных работ

Огородников И.А. отзыв на автореферат диссертационной работы Горлова Анатолия Александровича «Особенности процесса замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах бассейна Северного моря», представленной на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.14 – Мировая экономика.

Участие в совместных с вузами научно-образовательных проектах, научных исследованиях и экспериментальных разработках, а также иных совместных мероприятиях

Назаров А.Д. - научный руководитель учебного направления НГУ «Мехатроника и робототехника».

Научно-педагогическая деятельность

Проф. Серов А.Ф., НГТУ, «Разработка, планирование и обработка результатов эксперимента», «Компьютерные технологии в науке и образовании», лекции и семинары.

Проф. Сеначин П.К., АлГТУ им. И.И. Ползунова, «Двигатели внутреннего сгорания», лекции.

Назаров А.Д., ВКИ НГУ, «Разработка компьютерных систем и комплексов», лекции и семинары.

Мискив Н.Б., ВКИ НГУ, «Информационные системы в профессиональной деятельности», лекции и семинары.

Научно-исследовательская работа со студентами и аспирантами

Студентов ВКИ НГУ НГУ – 3

Аспирантов ИТ – 1

Кадровый состав

Всего сотрудников	– 16
из них научных сотрудников	– 8
в т. ч. докторов наук	– 4
кандидатов наук	– 3

Информационно-вычислительные ресурсы

Персональные ЭВМ:

Pentium – 14

Компьютеры подключены к локальной сети Института