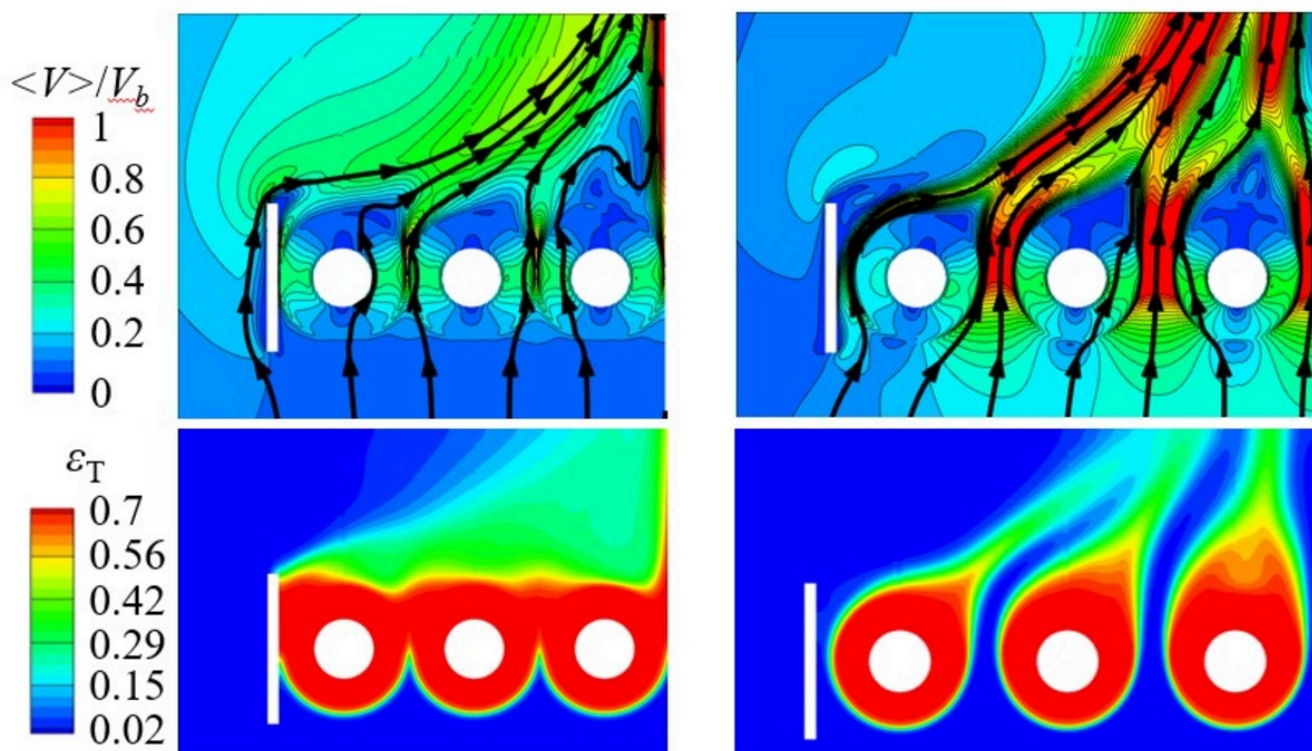


## Учёные рассчитали, как повысить эффективность теплообменников, работающих в условиях естественной конвекции

Коллектив учёных из России и Белоруссии провел совместное расчётно-экспериментальное исследование свободноконвективного теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения, состоящих из пучков горизонтальных оребренных труб. Исследователи оценили, как расстояние между трубами и краевые эффекты влияют на структуру воздушного потока и на интенсивность отвода тепла в режиме, когда охлаждение идёт без вентиляторов — только за счёт естественного подъёма нагретого воздуха. Результаты поддержанных грантом [Российского научного фонда](#), исследований, которые в перспективе позволят повысить эффективность теплообменных аппаратов на этапе их проектирования, опубликованы в высокорейтинговом международном журнале [Applied Thermal Engineering](#).

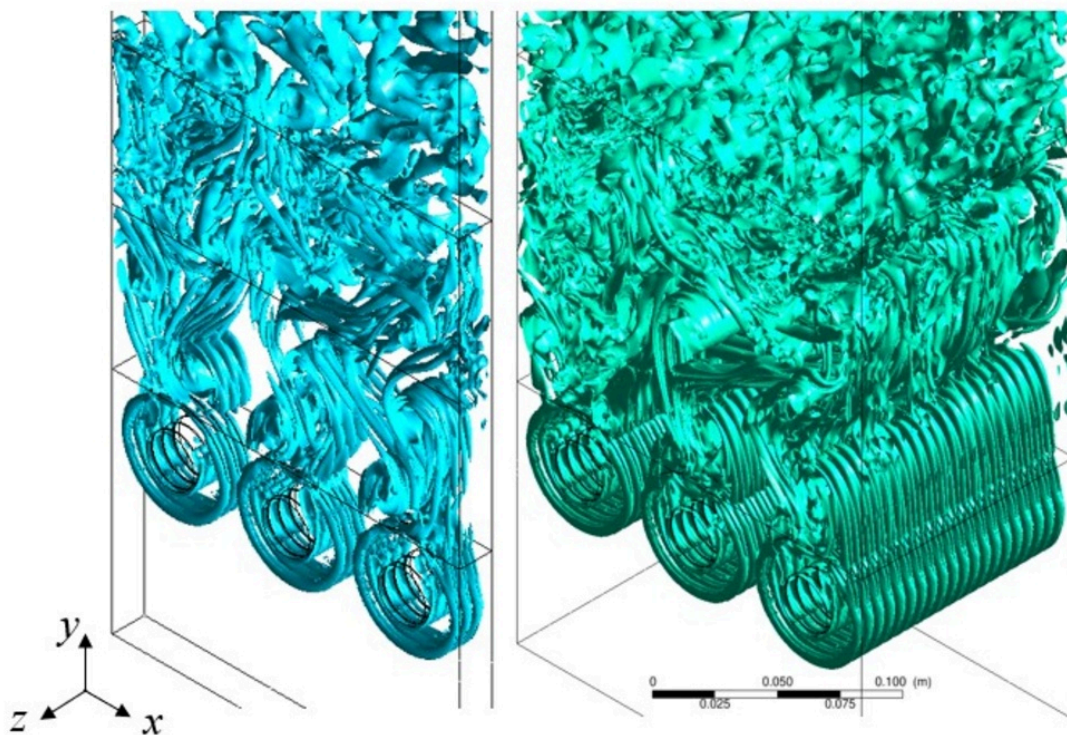


Аппараты воздушного охлаждения окружают нас повсюду — от крупных промышленных установок и электростанций до бытовой техники. Их задача в том, чтобы отвести избыточное тепло от нагретой среды и передать его окружающему воздуху. При этом чаще всего охлаждаемая среда проходит через трубы с внешним оребрением: множество тонких пластин многократно

увеличивают площадь поверхности, с которой снимается тепло, подобно рёбрам на радиаторе автомобиля или мотоцикла. Обычно трубы обдуваются воздухом принудительно с помощью вентиляторов. Это самый производительный, но и самый неэкономичный режим: он требует электроэнергии, создаёт шум и нуждается в постоянном контроле, чтобы избежать аварийных ситуаций. В режиме пассивного охлаждения принудительная тяга вентиляторов не требуется, в нём естественная конвекция происходит за счёт того, что нагретый воздух легче холодного и поднимается вверх. Такой режим бесшумен, экологичен и почти не потребляет энергии, но вместе с тем имеет меньшую интенсивность теплоотдачи.

На эффективность пассивного охлаждения напрямую влияет геометрия поверхности: насколько плотно расположены трубы в пучке, какой шаг у оребрения, как пучок ориентирован относительно направления силы тяжести. Для поиска оптимальной формы охлаждающей поверхности учёные Петербургского Политеха и Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси провели совместное расчётно-экспериментальное исследование свободной конвекции и теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения. Для трёхмерной вычислительной модели однорядного пучка из шести оребренных труб решались полные уравнения движения и теплопереноса для воздуха, что позволило «заглянуть» внутрь пучка так, как это крайне сложно сделать в реальном эксперименте.

Было выявлено, что над пучком с плотной компоновкой формируется нестационарный тепловой факел: развиваются крупномасштабные колебания воздушного потока, из-за которых теплосъем меняется со временем в пределах 20% от среднего. Ученые рассчитали необходимое и достаточное расстояние между трубами системы охлаждения, при которой тепловой факел формируется локально над каждой трубкой и дальнейшее увеличение расстояния не влияет на общую эффективность охлаждения. Кроме того, были оценены краевые эффекты. Оказалось, что при тесной компоновке пучка разница в теплосъеме от различных труб может превышать 20%.



*«В промышленности теплообменные аппараты нередко вынужденно переходят в естественноконвективный режим — например, при поломке основного нагнетательного оборудования, — и здесь важно заранее знать, как получить от пассивного охлаждения максимальную эффективность, — поясняет руководитель проекта, кандидат физико-математических наук, доцент СПбПУ Марина Засимова. — По сути мы создаём цифровой двойник теплообменного аппарата: численное моделирование позволяет увидеть детали течения и теплообмена, которые почти невозможно измерить напрямую. Наши исследования показывают, что при определённых условиях несложными преобразованиями геометрии можно повысить теплосъём более чем на 30% — а значит, примерно на столько же вырастает и экономическая эффективность аппарата».*

Ещё один важный методический результат работы — обоснование того, что для таких задач нельзя ограничиваться классическим приближением Буссинеска, широко применяемым при моделировании свободной конвекции. При больших перепадах температуры между поверхностью труб и окружающим воздухом это приближение даёт значительную погрешность, поэтому воздух здесь корректно рассматривать как сжимаемый газ с переменными физическими свойствами. Достоверность модели подтверждена сопоставлением с экспериментальными данными белорусских коллег.

Опубликованная статья лишь один из результатов масштабного

международного проекта, поддержанного грантом Российского научного фонда № 24-49-10003 в рамках совместного конкурса РФ и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ). Проект посвящён созданию научных основ проектирования энергоэффективных теплообменных аппаратов воздушного охлаждения, работающих при доминирующих эффектах свободной конвекции, и объединяет две сильные исследовательские группы.



Расчётную часть ведёт лаборатория гидроаэродинамики Физико-механического института СПбПУ: научный руководитель лаборатории — профессор, доктор физико-математических наук Евгений Смирнов, известный специалист в области механики жидкости, газа и плазмы; за применение методов машинного обучения отвечает доцент, кандидат физико-математических наук Алексей Абрамов. Экспериментальную часть выполняет группа молодых исследователей из Минска под руководством кандидата технических наук Галины Маршаловой, заведующей кафедрой энергосбережения, гидравлики и теплотехники Белорусского государственного технологического университета, научного сотрудника Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси. Именно такое тесное партнёрство расчётчиков и экспериментаторов, по словам исследователей, стало ключом к успеху: это редкая возможность получить надёжные, детально задокументированные опытные данные для валидации численных моделей.

Многовариантные расчёты, позволившие получить несколько тысяч решений для различных наборов определяющих параметров, выполнены с использованием ресурсов Суперкомпьютерного центра «Политехнический». Накопленные данные легли в основу отдельного направления проекта: с помощью методов машинного обучения коллектив ищет универсальные зависимости, связывающие интенсивность теплоотдачи с режимными и геометрическими параметрами аппарата. Для свободноконвективных режимов таких универсальных формул до сих пор не существует, и их поиск — одна из фундаментальных задач проекта.

Результаты работы регулярно проходят апробацию на всероссийских и международных конференциях. Так, недавно исполнители проекта представили три доклада на 18-м Минском международном форуме по теплообмену — одном из крупнейших профильных научных событий. Также руководитель проекта Марина Засимова выступила с докладом на Томском международном энергетическом форуме и планирует представить результаты на масштабной конференции по теплообмену ИНТС (International Heat Transfer Conference), которая проводится раз в четыре года и в этом году пройдёт в Рио-де-Жанейро (Бразилия).

Впереди у коллектива — новый этап: поиск нестандартных способов интенсификации теплообмена в пассивных аппаратах, в том числе за счёт целенаправленной дестабилизации течения и добавления вихрегенераторов, создающих вторичные потоки у теплоотдающих поверхностей.

Дата публикации: 2026.07.09

[>>Перейти к новости](#)

[>>Перейти ко всем новостям](#)