

Серебренов Тимофей Владимирович

курсант

Научный руководитель

Солодовников Алексей Витальевич

доцент

Филиал ФГКВОУ ВО «Военная академия
Ракетных войск стратегического назначения
им. Петра Великого» Минобороны России
г. Серпухов, Московская область

ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛИ (КАЛОРИФЕРЫ) С ОРЕБРЕННЫМИ ТРУБАМИ: ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА СО СТОРОНЫ ВОЗДУХА И ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ТУРБУЛИЗАЦИИ

Аннотация: автор отмечает, что ребристо-трубные воздухонагреватели (калориферы) являются типовым оборудованием систем вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования. В таких аппаратах теплопередача часто ограничивается именно воздушной стороной: коэффициент теплоотдачи воздуха заметно ниже, чем у воды или пара, а геометрия оребрения и скорость обдува определяют как тепловую мощность, так и сопротивление сети. В статье рассмотрены конструкция и режимы работы калориферов, приведена классификация методов интенсификации со стороны воздуха (волнистые и жалюзийные ребра, перфорация, вихрегенераторы-крылышки, локальные направляющие элементы), а также даны практические рекомендации по выбору решений с учетом перепада давления, загрязнения и обмерзания.

Ключевые слова: воздухонагреватель, калорифер, оребрение, жалюзийные ребра, вихрегенераторы, сопротивление, загрязнение, обмерзание.

1. Введение.

Воздухонагреватели общего назначения регламентируются профильными стандартами и используются для нагрева воздуха горячей водой или паром в

системах вентиляции и кондиционирования [1]. С точки зрения эксплуатации это «рабочая лошадка»: конструкция проста, элементы доступны, а подбор обычно выполняют по каталожным данным при заданном расходе воздуха и тепловом графике. Тем не менее на объекте калорифер нередко работает не так, как на подборе: реальная запыленность, неидеальное распределение воздуха по фронту и сезонные режимы приводят к уходу характеристик.

Интенсификация теплообмена в калориферах чаще всего интересует не исследователя, а проектировщика и наладчика. Типичная ситуация: мощности «чуть не хватает», а габарит и посадочное место уже фиксированы. Тогда начинают искать резервы на воздушной стороне – через изменение геометрии ребер, локальные элементы, повышение скорости или более равномерное распределение потока.

2. Конструкция ребристо-трубного воздухонагревателя и где «теряется» мощность.

Калорифер представляет собой пучок труб с оребрением, соединенный коллекторами; теплоноситель движется внутри труб, воздух обдувает оребренную поверхность снаружи (рисунок 1). Оребрение увеличивает площадь, но само по себе не гарантирует роста мощности: фактическая работа ребра зависит от его эффективности (КПД ребра), а также от характера обдува и наличия загрязнений [4].

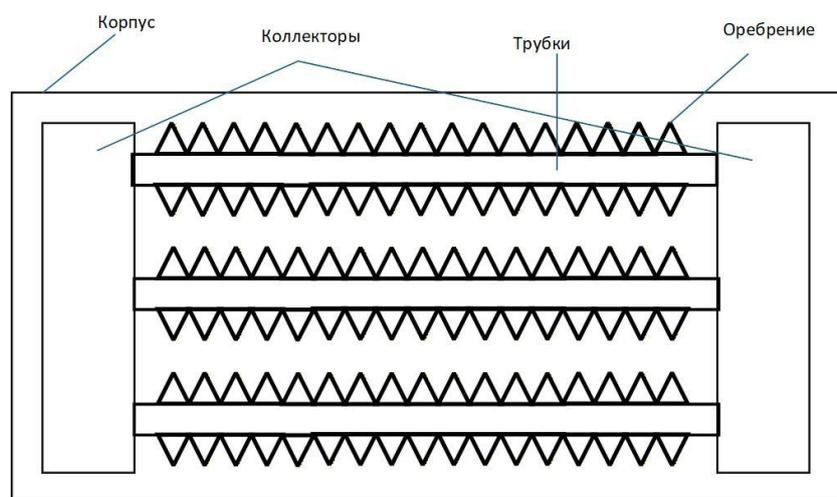


Рис. 1. Ребристо-трубный воздухонагреватель (схема автора)

На воздушной стороне коэффициент теплоотдачи обычно невысок. Если скорость мала, поток в межреберных каналах быстро «успокаивается», и значительная часть площади работает слабее, чем ожидается. Если же скорость поднимать, растет аэродинамическое сопротивление, увеличивается шум и нагрузка на вентилятор. Поэтому основные резервы лежат в геометрии ребер и в локальном управлении течением: заставить воздух чаще обновлять пристенный слой, но не «задушить» установку перепадом давления.

3. Методы интенсификации со стороны воздуха: что реально применимо.

С практической точки зрения методы можно разделить на три группы.

а) геометрия ребер: волнистые (гофрированные) ребра, насечки, увеличение плотности ребер. Эти решения обычно технологичны и встречаются в серийных изделиях;

б) жалюзийные ребра (louvers): серия наклонных прорезей формирует переориентацию потока и повышает теплоотдачу на малых габаритах. Цена – повышенная чувствительность к пыли и обмерзанию;

в) вихрегенераторы (крылышки, пары «дельта-крыльев»): небольшие выступы создают продольные вихри и поддерживают перемешивание в межреберном пространстве. Эффект заметен при ограниченной толщине теплообменного блока, но требует аккуратной компоновки, чтобы не получить лишние зоны задержки загрязнений.

Отдельно стоит перфорация ребер. В лабораторных условиях она может улучшать перемешивание, однако в реальной вентиляции перфорация часто работает против: пыль и волокна охотно «салятся» на кромках отверстий. Это отмечают и учебные материалы по оребренным поверхностям, где подчеркивается зависимость эффективности от условий эксплуатации [4].

4. Локальная турбулизация и распределение: где добавка дает максимум.

В калориферах типична проблема неравномерного обдува: воздух предпочитает «легкий путь» и обходит часть фронта, особенно если перед теплообменником есть поворот или заслонка. В результате локальные скорости различаются, и теплообменный блок работает неравномерно. На практике это означает: прежде

чем усложнять оребрение, имеет смысл проверить распределение по фронту и устранить очевидные перекосы (выравнивающие решетки, корректировка конфигурации коробов).

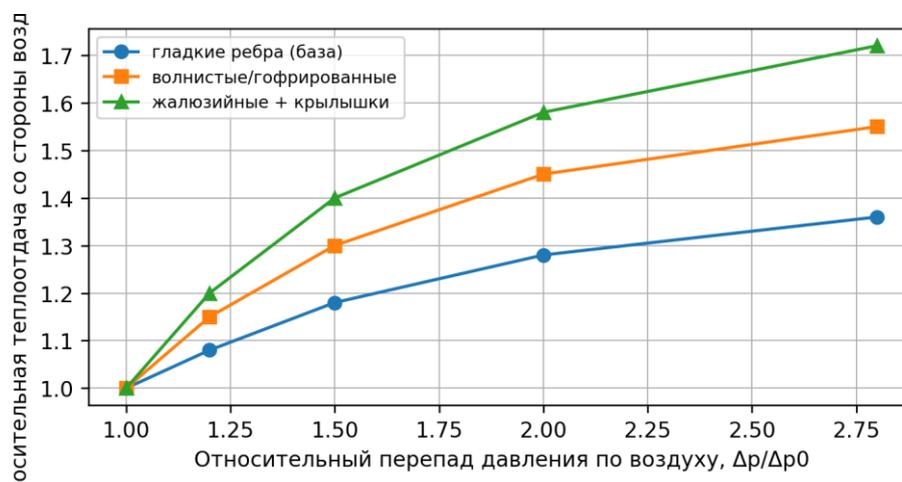


Рис. 3. Компромисс «теплоотдача-сопротивление» со стороны воздуха (концептуальный график автора)

Если распределение приведено в порядок, локальная интенсификация становится более предсказуемой. Наиболее рабочие приемы:

- усиление возмущения на входной кромке блока (частичные элементы): это повышает теплоотдачу в зоне формирования пограничного слоя при умеренном росте Δp ;

- комбинация волнистых ребер с небольшими вихрегенераторами на отдельных участках (обычно ближе к середине блока);

- аккуратное увеличение плотности ребер без чрезмерного сужения межреберного прохода.

Концептуально взаимосвязь «теплоотдача-сопротивление» показана на рисунке 3: более агрессивная геометрия дает больший выигрыш по α , но быстро увеличивает Δp .

5. Загрязнение и обмерзание: главный практический ограничитель.

Для систем вентиляции загрязнение – не абстрактная проблема. Даже при наличии фильтров часть пыли и волокон доходит до калорифера, особенно в режимах, когда фильтры несвоевременно меняют. Засорение межреберных каналов

приводит к росту сопротивления и падению расхода воздуха, то есть калорифер теряет мощность дважды: через ухудшение теплоотдачи и через уменьшение расхода. Поэтому при выборе «интенсивных» ребер важно оценивать обслуживаемость и доступность очистки, а не только паспортный коэффициент теплопередачи.

В холодный период добавляется риск обмерзания (например, на охлаждающих секциях или при работе на влажном наружном воздухе). Жалюзийное оребрение и мелкие элементы (крылышки) в таких условиях требуют осторожности: лед на тонких кромках нарастает быстрее, а очистка сложнее. Нормативные документы по проектированию вентиляции и кондиционирования прямо связывают надежность работы оборудования с режимами эксплуатации и обслуживанием [2].

6. Инженерная оценка эффективности: что сравнивать в расчете и в паспорте.

Для выбора варианта интенсификации следует сравнивать не один показатель. Минимальный набор:

- прирост тепловой мощности (или коэффициента теплоотдачи) при фиксированном расходе воздуха;
- рост Δp по воздуху и, как следствие, потребляемой мощности вентилятора;
- риск загрязнения и периодичность обслуживания.

Для оребренных труб и пучков накоплены экспериментальные данные по теплообмену и аэродинамике; в отечественной литературе отдельно рассматривается влияние оребрения на теплоотдачу и сопротивление пучков [3].

В проектах, где важна предсказуемость (объекты с круглогодичной работой и строгими требованиями к воздухообмену), часто выигрывают умеренные решения: волнистые ребра или небольшая оптимизация плотности, но с хорошей ремонтопригодностью. Слишком 'острая' интенсификация окупается реже, потому что обслуживание в реальной эксплуатации всегда дороже, чем в расчетной таблице.

7. Практические рекомендации по выбору решения.

1. Начать с простого: проверить фактический расход воздуха и распределение по фронту калорифера. Часто резерв скрыт именно там.

2. Если воздух запыленный или есть риск обмерзания, избегать мелких элементов и очень плотного оребрения. Лучше оставить запас по проходу.

3. Для чистых систем (хорошая фильтрация, регламентная замена фильтров) допустимы жалюзийные ребра и локальные вихрегенераторы.

4. Если ограничен перепад давления вентилятора, рассматривать частичную интенсификацию у входа, а не 'агрессивную' геометрию по всему блоку.

5. При выборе по каталогу обязательно проверять, что паспортные данные даны для условий, близких к вашим (скорость на фронте, влажность, чистота воздуха).

Таблица 1

Сравнение методов интенсификации со стороны воздуха

Метод	Эффект на теплоотдачу	Рост Δp	Риск загрязнения/обмерзания	Замечания
Волнистые (гофрированные) ребра	средний	средний	средний	часто разумный компромисс, серийные изделия
Жалюзийные ребра	высокий	высокий	высокий	эффект на компактных блоках; требовательны к чистоте воздуха
Вихрегенераторы (крылышки)	средний-высокий	средний-высокий	средний-высокий	лучше в локальном исполнении и при хорошей фильтрации
Увеличение плотности ребер	средний	средний-высокий	высокий	быстро забивается пылью; нужен сервис
Выравнивание распределения по фронту	косвенный	обычно нет	снижает	часто самый дешевый способ вернуть мощность

Заключение.

Интенсификация теплообмена в ребристо-трубных воздухонагревателях логично смещается на воздушную сторону, поскольку именно она чаще всего лимитирует мощность. Наиболее надежные решения – те, которые улучшают структуру течения без резкого роста сопротивления и без ухудшения обслуживания: умеренное волнистое оребрение, локальные элементы на входе, корректная плотность ребер и выравнивание распределения воздуха. Жалюзийные ребра и

вихрегенераторы дают сильный эффект, но требуют аккуратного выбора по условиям запыленности и обмерзания. В прикладной работе решает баланс: теплообмен, Δp и эксплуатационная устойчивость.

Список литературы

1. ГОСТ 27330-97. Воздухонагреватели. Типы и основные параметры. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017942> (дата обращения: 28.02.2026).
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/120025/> (дата обращения: 28.02.2026).
3. Юдин В.Ф. Теплообмен поперечно-оребрённых труб / В.Ф. Юдин. – URL: https://kostmash.ru/assets/yudin-vf-teploobmen-poperechno-orebrennyh-trub_52e64101dfa.pdf (дата обращения: 28.02.2026).
4. Тарасевич Ю.Г. Основы расчёта теплообмена в оребрённых поверхностях (эффективность ребра, загрязнение) / Ю.Г. Тарасевич. – 2022. – URL: https://elib.grsu.by/katalog/784518_345071pdf.pdf (дата обращения: 28.02.2026).
5. Банных О.П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников: учеб. пособие / О.П. Банных. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2012. – URL: <https://ines-ur.ru/wp-content/uploads/2021/09/bannyh-o.p.-konstrukczii-i-raschety-teploobmennikov-2012.pdf> (дата обращения: 28.02.2026). EDN ZUZYYL
6. Закиров М.А. Теплообменные аппараты: учеб. пособие / М.А. Закиров. – 2021. – URL: <https://clck.ru/3SKuRv> (дата обращения: 28.02.2026).
7. Калорифер водяной КСК: паспорт, техническое описание, инструкция по эксплуатации. – М. – URL: <https://www.ventinform.ru/userfls/docs/KSK-pasport.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).