

Серебренов Тимофей Владимирович

курсант

Солодовников Алексей Витальевич

доцент

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

ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРЫ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ В ПВУ: РЕАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА

***Аннотация:** авторы подчеркивают, что теплоутилизатор на тепловых трубах – это рекуперативный теплообменник, в котором перенос теплоты между вытяжным и приточным воздухом идет за счет испарительно-конденсационного цикла рабочего тела внутри герметичных труб. Узел не требует внешнего насоса и не имеет движущихся частей, поэтому его часто применяют в приточно-вытяжных установках при строгой разделенности потоков. В статье разобраны конструкция узла, причины снижения эффективности на объекте и практические приемы, которые позволяют удержать расчетную отдачу в течение сезона.*

***Ключевые слова:** тепловая труба, теплоутилизатор, рекуперация, вентиляция, эффективность, перепад давления, обмерзание.*

1. Введение.

В проектах вентиляции рекуперация вытяжного воздуха все чаще рассматривается как обязательный резерв энергосбережения. Однако оценка «по проценту эффективности» часто вводит в заблуждение: в реальной эксплуатации на первый план выходит перепад давления, обслуживание и устойчивость работы зимой. Нормативная база по системам отопления, вентиляции и кондиционирования закреплена в СП 60.13330.2020 [1].

2. Как работает тепловая труба в рекуператоре.

Тепловая труба – герметичный канал, частично заполненный рабочей жидкостью. В испарителе жидкость кипит, пар переносит скрытую теплоту в конденсатор и там конденсируется. Возврат конденсата реализуется либо гравитацией (термосифон), либо капиллярным фитилем. Ограничения по теплопереносу и практические рекомендации для HVAC-применений приведены в обзоре Жарова и соавт [2].

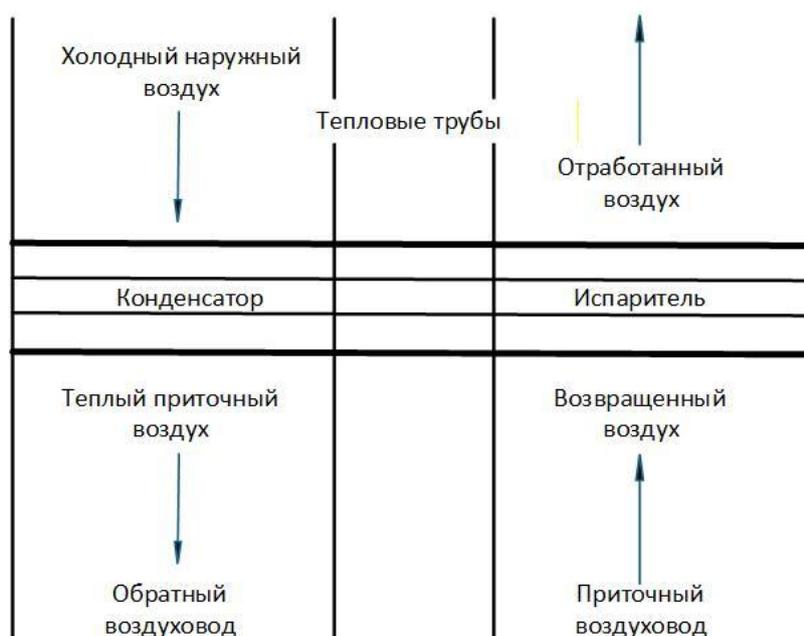


Рис. 1. Включение теплоутилизатора на тепловых трубах в ПВУ (схема автора)

В приточно-вытяжной установке пучок тепловых труб с оребрением пересекает герметичную перегородку между вытяжным и приточным каналом (рисунок 1). Каждая труба работает как автономный контур переноса теплоты, что повышает отказоустойчивость: деградация одной трубы редко приводит к «обнулению» узла. Учебные материалы по рекуперации также отмечают конденсацию влаги на поверхности труб и необходимость организованного отвода конденсата [5].

3. Почему эффективность на объекте ниже расчетной.

Основная причина – неравномерный обдув фронта. Если до секции есть резкий поворот или короткий переход, часть площади оказывается недогружена. Снаружи это выглядит так: по датчикам температуры эффективность «плавает»,

а при морозах быстрее появляется локальное обмерзание. На практике именно выравнивание потока дает максимальный эффект до любых «тонких» настроек.

4. Ориентиры по эффективности и как их читать.

Температурная эффективность ε удобна как показатель качества теплообмена, но экономия энергии определяется также расходом воздуха. Поэтому для первичной оценки используют и мощность утилизации: $Q_{\text{ут}} \approx \varepsilon \cdot \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$. Для сравнения разных устройств полезны литературные ориентиры: в таблицах Жарова и др. для примера при 3000 м³/ч и -20/+20 °С тепловая труба дает 63% [2], а в учебном пособии Коротинского для пластинчатых и роторных рекуператоров приведены типичные диапазоны 58–62% и 74–75% соответственно [3]. Сводное сравнение дано на рисунке 2.

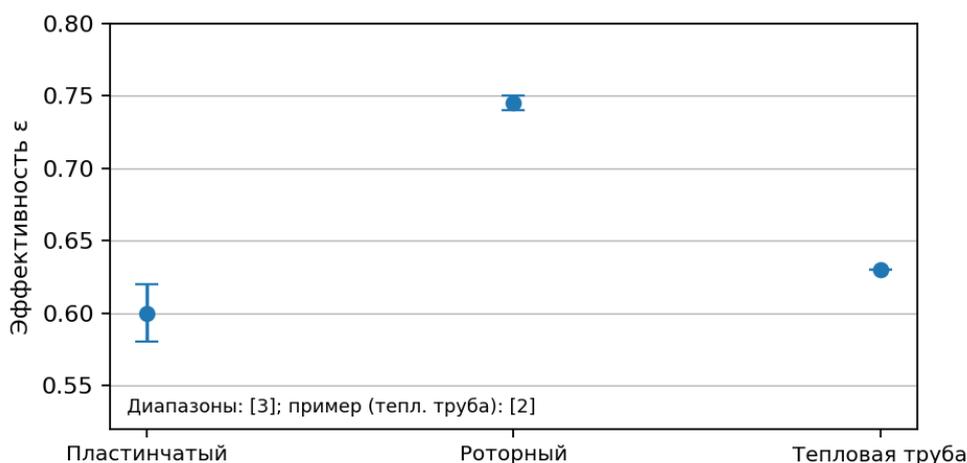


Рис. 2. Сравнение ориентиров по ε (по данным [2] и [3]; график автора)

5. Перепад давления, запыление и сервис.

Рекуператор добавляет сопротивление по воздуху, и именно оно первым «съедает» производительность при загрязнении. Поэтому важны доступ к очистке и запас по Δp . В паспортах ПВУ производители отдельно оговаривают минимальные расстояния для обслуживания и порядок работ по фильтрам и секциям [6; 7]. Эти требования стоит воспринимать буквально: если доступ неудобен, секцию почти неизбежно будут обслуживать реже.

6. Обмерзание и антиобледенение.

В зимнем режиме на холодной стороне возможны иней и лед, что ведет к быстрому росту Δr и снижению расхода. Типовые меры – байпасирование, преднагрев притока и управление расходом. Для термосифонов дополнительно важен монтажный наклон: неверная ориентация ухудшает возврат конденсата и снижает теплоотдачу [2].

7. Пример расчета.

При расходе $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($\dot{m} \approx 0,67 \text{ кг/с}$), $T_{in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{out} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$, приняв $\varepsilon = 0,60$, получаем $Q_{ут} \approx 12 \text{ кВт}$. На рисунке 3 показано, как меняется $\dot{Q}_{ут}$ с температурой наружного воздуха при фиксированном расходе. Такой расчет полезен как контроль порядка величин перед детальным подбором.

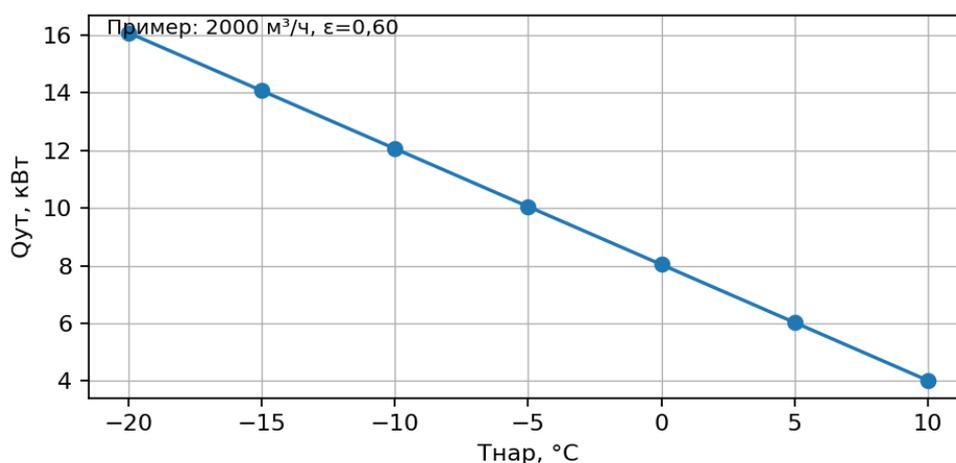


Рис. 3. Пример: мощность утилизации при разных $T_{нар}$ (график автора)

Заключение.

Теплоутилизатор на тепловых трубах хорошо работает там, где требуется раздельность потоков и надежность. Реальная эффективность в эксплуатации определяется не только геометрией, но и компоновкой: равномерным обдувом, антиобмерзанием и обслуживаемостью. В большинстве проектов выигрывает решение с «разумным запасом» по аэродинамике и понятным регламентом обслуживания, а не максимальный паспортный процент.

Список литературы

1. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения: 28.02.2026).
2. Жаров А.А. Использование тепловой трубы в качестве теплообменника отработанного воздуха в центральном кондиционере / А.А. Жаров [и др.] // Холодильная техника. – 2022. – Т. 111. №4. – С. 221–232. – URL: https://freezetechnology.ru/0023-124X/article/download/117508/pdf_3 (дата обращения: 28.02.2026). DOI 10.17816/RF117508. EDN FVECMS
3. Коротинский В.А. Теплотехнологии: учеб. пособие (теплоутилизационные установки; оценочные значения эффективности) / В.А. Коротинский. – URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/232/1/V-A-Korotinskij-Teploekhnologii.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
4. Yau Y.H. Heat pipe heat exchanger and its potential to energy recovery in the tropics / Y.H. Yau, M. Ahmadzadehtalatapeh // Thermal Science. – 2015. – URL: <https://thermalscience.rs/pdfs/papers-2015/TSCI100818020Y.pdf> (date of access: 28.02.2026).
5. Матвеев Ю.Н. Вентиляционные системы с рекуперацией теплоты (раздел о тепловых трубах; конденсат и эксплуатационные особенности) / Ю.Н. Матвеев. – URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/123099/21-22.pdf?sequence=1> (дата обращения: 28.02.2026).
6. ВУТ 350 ПЭ ЕС, ВУТ 600 ПЭ ЕС, ВУТ 1000 ПЭ ЕС: приточно-вытяжная установка с рекуперацией тепла: руководство пользователя // ВЕНТС. – URL: <https://profimann.com.ua/images/companies/1/Vents/vut-350-pu-es.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).
7. KLASIK: вентиляционная установка: технический паспорт и инструкция по монтажу // KOMFOVENT. – URL: <https://k-vent.ru/upload/medialibrary/2ca/9sso4hw8caqp4itkcv649bb1datxv4rg.pdf> (дата обращения: 28.02.2026).