

УДК 621.577:697.9

ПАЧКИН Е.Д., студент гр. ПИБ-232 (КузГТУ)
Научный руководитель ШУТЬКО Л.Г., к. э. н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

РЕКУПЕРАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В условиях растущей энергоёмкости промышленности и сурового климата многие предприятия сталкиваются с большими потерями тепла, когда ценная тепловая энергия просто выбрасывается наружу с вентиляционными выбросами. Такая расточительность не только усиливает нагрузку на энергоресурсы, но и создаёт экологические проблемы вследствие лишних выбросов в атмосферу. Поэтому сегодня актуально применение технологий рекуперации низкопотенциального тепла – повторного использования «низкосортной» тепловой энергии, содержащейся в тёплых отходящих потоках. Низкопотенциальным называют теплоноситель сравнительно невысокой температуры, например подогретую воду или воздух после технологического оборудования, который обычно не превышает $\sim 100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и остаётся неиспользованным. На многих предприятиях объём такого низкопотенциального тепла весьма велик, хотя до недавнего времени оно почти не шло в дело. Именно стремление сократить эти потери легло в основу развития систем рекуперации тепла в вентиляции промышленных объектов [2, 5].

Рекуперация тепла – это процесс теплообмена, при котором теплота от удаляемого вытяжного воздуха передаётся поступающему свежему воздуху. Иными словами, приточный и вытяжной потоки проходят через специальный теплообменник без смешивания, так что более нагретый поток отдаёт тепло холодному через разделяющие их стенки. Благодаря этому вытяжной воздух, который в любом случае выбрасывается наружу, согревает холодный приток практически «бесплатно». Например, зимой входящий с улицы морозный воздух в рекуператоре предварительно нагревается за счёт тёплого вытяжного, что значительно снижает нагрузку на калориферы системы отопления. Таким образом, внедрение рекуперации позволяет сократить потребление энергии на отопление помещений и одновременно уменьшить вредную нагрузку на окружающую среду за счёт снижения сжигания топлива или электричества. Экономия энергоресурсов непосредственно приводит и к экономии средств на эксплуатации вентиляции, поэтому рекуперацию рассматривают как важный элемент повышения энергоэффективности промышленной вентиляции [3; 5].

В современных вентиляционных установках используется несколько основных схем рекуперации теплоты. Широко распространены *пластинчатые рекуператоры*, где два потока воздуха разделены набором тонких пластин теплообменника. Тёплый вытяжной воздух отдает им свою теплоту, а через стенку пластины эта энергия нагревает холодный приточный воздух.

Пластинчатые теплообменники просты по устройству, не имеют движущихся частей и не требуют дополнительной энергии для работы, однако в сильный мороз на них может образовываться конденсат и иней, поэтому предусматривают дренаж и байпас для оттаивания обмерзших пластин. Другая конструкция – *роторный рекуператор*, представляющий собой крупное вращающееся колесо из теплоаккумулирующего материала. Половина ротора находится в канале вытяжки, половина – в приточном канале; при медленном вращении сегменты колеса поочерёдно нагреваются от тёплого воздуха и передают накопленное тепло холодному притоку. Роторные системы отличаются высоким КПД и способны передавать также часть влаги, но требуют электропривода и допускают небольшой подсос воздуха из вытяжки в приток (несколько процентов), поэтому не применяются там, где важна абсолютная гигиеничность (например, в чистых производствах и медучреждениях). Третий подход – *жидкостная (гликолевая) схема рекуперации*, при которой тепло переносится промежуточным теплоносителем. Вытяжной и приточный каналы оснащаются отдельными жидкостными теплообменниками, соединёнными трубопроводом с циркуляционным насосом. Горячий теплоноситель забирает тепло у вытяжного воздуха и переносит его ко второму радиатору, подогревая приточный поток. Такая система удобна, когда приточные и вытяжные установки удалены друг от друга или разделены расстоянием в здании. Кроме того, жидкостный контур полностью исключает переток воздуха между потоками. Недостатком считается несколько более низкая эффективность из-за двухступенчатого обмена и затраты энергии на насос, однако в целом все три типа рекуператоров позволяют возвращать значительную часть тепловой энергии вентиляции (в зависимости от условий до половины и более) вместо её утраты в окружающую среду [3, 4].

Практика показывает, что системы вентиляции с рекуперацией низкопотенциального тепла находят применение практически во всех отраслях – от общественных зданий до крупных промышленных объектов. В производственных цехах такой теплообменник обычно включается в приточно-вытяжную установку или воздушный отопитель. Полученное «даровое» тепло можно использовать для обогрева самих рабочих помещений, поддержания требуемой температуры на складах и в цехах в холодное время года, а также для технологических нужд – например, для предварительной сушки продукции теплым приточным воздухом или подогрева воздуха, подаваемого на горелки промышленных печей. Благодаря рекуперации снижается установленная мощность догрева воздуха калориферами и утилизируется тепло, которое раньше пропадало впустую. Так, даже установка относительно простой системы с невысоким коэффициентом полезного действия (порядка 30%) даёт заметную экономию энергоресурсов на отопление, а более эффективные рекуператоры способны сократить тепловые потери вентиляции на десятки процентов. На практике это означает снижение затрат на топливо или электроэнергию для отопления и вентиляции, повышение автономности предприятия и улучшение условий труда за счёт более стабильного микроклимата. Дополнительный плюс – уменьшение объёма выбросов парниковых газов и продуктов сгорания:

предприятие при том же тепловом комфорте потребляет меньше первичной энергии, что повышает экологическую устойчивость производства. Расчёты энергоэффективности показывают, что вложения в рекуперационные установки окупаются в короткие сроки. Например, теплообменник, отбирающий тепло от технологических газов, может вернуть предприятию миллионы рублей экономии на подогреве воздуха и полностью себя оправдать всего за несколько месяцев работы. Даже если учесть затраты на обслуживание рекуператоров и небольшое увеличение аэродинамического сопротивления системы, суммарный экономический эффект остаётся весьма значительным, а срок окупаемости подобных решений обычно исчисляется считаными годами или даже месяцами [1; 5].

Перспективы развития систем рекуперации тепла тесно связаны с дальнейшей автоматизацией и «умным» управлением микроклиматом. Современные приточно-вытяжные установки оснащаются цифровыми контроллерами, которые регулируют работу вентиляторов, клапанов и теплообменников в зависимости от показаний датчиков. Например, автоматизация следит за температурой и влажностью: при риске обледенения рекуператора система может временно переключить потоки или включить подогрев приточного воздуха. Широко внедряются *датчики качества воздуха* – содержащего CO_2 , влажности, присутствия людей – которые позволяют адаптивно менять производительность вентиляции. Если помещения не заняты или воздух чист, система может снижать обороты и экономить энергию, но стоит повыситься концентрации CO_2 или появиться людям, как умная вентиляция увеличит приток свежего воздуха и интенсивность рекуперации тепла. Такие *адаптивные системы* с обратной связью обеспечивают оптимальный баланс между энергосбережением и комфортом, что имеет особо важное значение «в условиях движения к низкоуглеродной экономике» [6]. В будущем интеграция рекуператоров с датчиками и автоматикой, а также включение их в общие цифровые платформы управления предприятием (BMS-системы) позволит ещё более гибко управлять расходом энергии на вентиляцию. Цифровое моделирование уже сегодня помогает прогнозировать эффективность рекуперации в разных режимах и климатических условиях, что используется при проектировании новых энергоэффективных объектов. Можно ожидать, что с развитием технологий такие системы станут неотъемлемой частью «умных» зеленых фабрик и зданий [7]. Это подтверждает распространение практики добровольной, а не только принудительной (со стороны государства) экологической ответственности бизнеса [8].

В заключение следует подчеркнуть, что использование рекуперации низкопотенциального тепла в промышленной вентиляции – это не разовая техническая мера, а элемент стратегического перехода к устойчивому энергопотреблению. Возврат утрачиваемой тепловой энергии означает меньшие расходы ресурсов и снижение вредных выбросов при сохранении требуемого микроклимата, что полностью соответствует целям современной промышленности по энергоэффективности и экологической безопасности. Рекуперационные технологии вписываются в комплексную политику

энергосбережения как на уровне отдельного предприятия, так и всей отрасли. Таким образом, рекуперация низкопотенциального тепла сегодня превращается в базовый стандарт проектирования вентиляционных систем на производстве – шаг к более устойчивой и ответственной промышленности будущего [5].

Список литературы:

1. Никитина В.А., Сулин А.Б., Муравейников С.С. и др. Энергомоделирование и экспериментальная верификация режимов работы теплового насоса при утилизации теплоты вытяжного воздуха. Ч. 1: Схемные решения и расчетная модель // *Вестник Международной академии холода*. – 2023. – № 4. – С. 3–10.
2. Прожкин Д.Д., Тихомирова А.В. Современные способы использования низкопотенциального тепла в химической промышленности // *Сб. трудов науч.-практ. конф. «Высокие технологии и техника – 2020»*. – Кемерово: КузГТУ, 2020. – С. 120–124.
3. Рекуператоры в составе систем вентиляции: виды, эффективность и недостатки [электронный ресурс] // *ОВЕН, полезные материалы*. – 28.02.2023. – URL: https://vent.owen.ru/poleznye_materialy/statii/recuperator-sistem-ventilyacii (дата обращения: 14.10.2025).
4. Системы рекуперации тепла вентиляционных систем и теплоносители для них [электронный ресурс] // *Hot Stream – статьи и обзоры*. – 08.08.2019. – URL: <https://hstream.ru/info/articles/sistemy-rekuperatsii-tepla-ventilyatsionnykh-sistem-i-teplonositeli-dlya-nikh/> (дата обращения: 23.10.2025).
5. Щербакова Ю., Чистохин С., Быков К. Использование системы рекуперации тепла с целью повышения энергоэффективности и экологичности промышленных предприятий [электронный ресурс] // *База знаний компании «ЭКАТ»*. – 2022. – URL: <https://ekokataliz.ru/baza-znaniy/energoeffektivnost/ispolzovanie-sistemyi-rekuperatsii-tepla-s-tselyu-povyisheniya-energoeffektivnosti-i-ekologichnosti-promyshlennyih-predpriyatiy/> (дата обращения: 10.10.2025).
6. Шутько, Л. Г. Углеродный след и эффект декарбонизации в угледобыче Кузбасса / Л. Г. Шутько, Л. Л. Самородова // *Уголь*. – 2022. – № 2(1151). – С. 61-66. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-2-61-66.
7. Aereco. Адаптивная система вентиляции Aereco: энергоэффективность и высокое качество воздуха [проспект]. – Пер. с англ. – Aereco, 2018. – 12 с.
8. Шутько, Л. Г. Конкуренто-экологическая корпоративная стратегия и внедрение механизмов добровольной экологической ответственности / Л. Г. Шутько // *Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : сборник материалов XI международной научно-практической конференции*, Кемерово, 24–25 ноября 2015 года / Под редакцией Тайлакова О. В.. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2015. – С. 111.