

УДК 697.952.2

**ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЗДУХООБМЕН  
В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ  
МАЛОЭТАЖНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

**ECONOMICALLY EFFECTIVE AIR EXCHANGE  
IN THE HEATING SYSTEM  
A HEAT PUMP LOW-RISE TEXTILE AREAS**

*Р.М. АЛОЯН, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, Н. В. ВИНОГРАДОВА, М.Р. ИРОДОВА, И.А. ЗАЙЦЕВА*  
*R.M. ALOYAN, V.N. FEDOSEEV, N.V. VINOGRADOVA, M.R. IRODOVA, I.A. ZAYTSEVA*

**(Ивановский государственный политехнический университет)**  
**(Ivanovo State Polytechnical University)**  
E-mail: 4932421318@mail.ru

*В статье рассмотрены два варианта работы воздушного теплового насоса с системой воздухообмена без рекуператора – путем компенсации удаляемого воздуха, которая происходит за счет инфильтрации, и с рекуператором – режим воздухообмена принудительного характера при наличии дефицита энергии воздуха за счет приточно-вытяжной вентиляции. Авторами доказано, что с учетом наличия смесительной камеры теплонасосные воздушные системы в холодный (отопительный) период работают эффективнее с рециркуляцией, то есть на смеси воздуха наружного и внутреннего (забираемого из помещения), обеспечивая высокий энергосберегающий эффект.*

*The article considers two variants of air heat pump with a system of air exchange ventilation without recuperator by compensating exhaust air, which is due to infiltration and with recuperator, mode of binding in the presence of energy deficit of air due to ventilation. The authors have proved that taking into account the presence of the mixing chamber air heat pump system in cold (heating) period are more efficient with recycling, the mixture of outdoor and indoor air (pick up from the premises), providing high energy-saving effect.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, тепловой насос, рекуператор, воздухообмен, инфильтрация, рекуперация.

**Keywords:** energy efficiency, heat pump, recuperator, air exchange ventilation, infiltration, recovery.

Сотрудниками кафедры организации производства и городского хозяйства ИВГПУ в целях эффективности работы воздушного теплового насоса (ВТН) была разработана и предложена комплексная схема работы данного устройства, совмещенная с системой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии [1...3]. В нашем случае при таком решении ВТН устанавливается внутри отдельного поме-

щения (подвал, котельная и т.д.), встроенного в общее здание, из которого забирается необходимое количество воздуха для работы теплового насоса, допуская в том числе неорганизованную форму воздухообмена (естественную вентиляцию).

Рассмотрим два варианта работы нашего ВТН с системой воздухообмена: без рекуператора (а) и с рекуператором (б) (рис. 1).

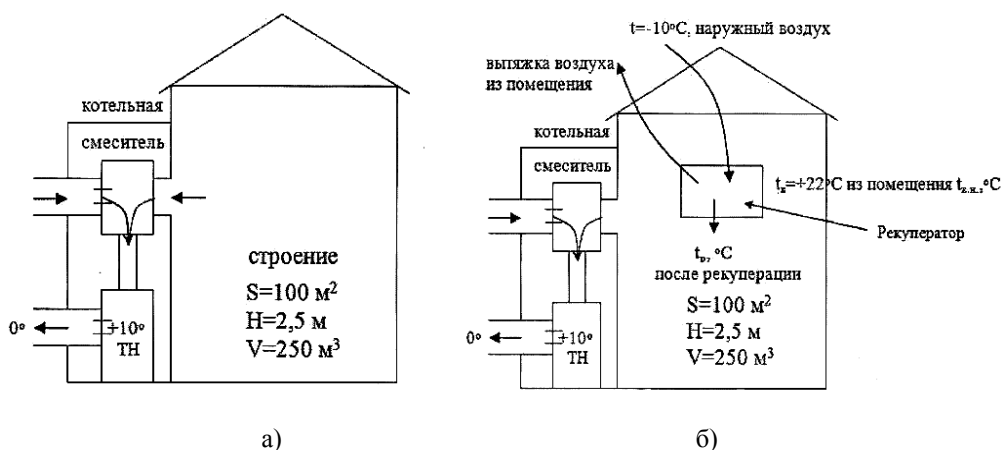


Рис. 1

В первом случае ВТН работает без рекуператора. Эффективность его работы в этом случае рассматривается следующим образом.

Проанализируем, как изменяется количество забираемого из помещения воздуха при изменении температуры наружного воздуха. Для этого принимаем следующие исходные данные: номинальная тепловая мощность ВТН  $P = 12 \text{ кВт}$ ; мощность компрессора  $P_{\text{компр}} = 2,5 \text{ кВт}$ ; мощность вентилятора  $P_{\text{вентилятора}} = 0,5 \text{ кВт}$ , площадь

строения  $S=100 \text{ м}^2$ . Как пример, наружную температуру на улице принимаем  $t_{\text{нар}} = -10^\circ\text{C}$ ; температуру внутри помещения  $t_{\text{внутр}} = +22^\circ\text{C}$ .

Рассчитаем воздухообмен в здании (помещении) при изменении температуры наружного воздуха ( $t_{\text{нар}}$  и  $t_{\text{внутр}}$ ) через коэффициент  $k$ , учитывающий это соотношение [4]:

$$V_{\text{зам}} = \frac{P_{\text{полезн. тепл. мощн}}}{P'_1} k, \quad (1)$$

где  $P_{\text{полезн.тепл.мощн}}$  – полезная тепловая мощность насоса;  $P'_1$  – тепловая мощность на испарителе, равная  $8,82 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  при  $t = 10^\circ\text{C}$ ;  $k$  – коэффициент, учитывающий

долю объема воздуха, забираемого из помещения, % (для конкретных условий  $k = 61\%$ , или  $0,67$ ).

$$P_{\text{полезн.тепл.мощн}} = 12 \text{ кВт} - 2,5 \text{ кВт} - 0,5 \text{ кВт} = 9,0 \text{ кВт}.$$

При температуре наружного воздуха  $t_{\text{нар}} = -10^\circ\text{C}$  и температуре внутри отдельного помещения (котельной)  $t = +10^\circ\text{C}$  объем удаляемого воздуха составит:

$$L = V_{\text{зам}} = \frac{9000 \text{ Вт}}{102 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}} \cdot 0,67 \approx 60 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (2)$$

В этом случае встает вопрос компенсации удаляемого воздуха, которая происходит вначале за счет неорганизованной вентиляции (воздухообмена), так называемой "инfiltrации", то есть поступления наружного воздуха в помещение через неплотности стен, окон и дверей под влиянием гравитации, обеспечивающей естественный воздухообмен. Основным объемом  $V$  воздуха в данном помещении площадью  $S=100 \text{ м}^2$ , высотой  $H=2,5 \text{ м}$  будет  $V=250 \text{ м}^3$ .

Согласно СНиП и ГОСТе (Справочник проектировщика, 1991г.) инfiltrация воздуха в зависимости от вида, формы и качества строительного материала составляет от 10 до 20%. В нашем случае инfiltrация составит  $25...50 \text{ м}^3$  воздуха. Такое количество неорганизованного воздушного объема можно считать соизмеримым с величиной забираемого из помещения воздуха. Учитывая тепловой баланс и дополнительный объем воздуха, приходим к выводу, что затраты мощности ВТН на покрытие тепла для объема  $\sim 60 \text{ м}^3$  увеличат время работы ВТН незначительно  $\approx$  на 3 мин, обеспечивая дополнительную мощность (0,6 кВт) [5].

Рассмотрим режим воздухообмена принудительного характера при наличии дефицита энергии воздуха для воздушного теплового насоса (ВТН). В целях сохранения теплового баланса в помещении, компенсируя забираемую долю воздуха для нашего ВТН, когда естественной (неорганизованной) вентиляции воздухообмена не хватает,

используем приточно-вытяжную вентиляцию с рекуператором воздуха (рис. 1-б), то есть процесс, при котором за счет отработанного воздуха возвращается часть тепла. Покидая помещение, теплый воздух частично нагревает встречный холодный поток в теплообменнике, тогда на улицу выходит отработанный воздух, а в помещение попадает свежий нагретый воздух.

При эксплуатации рекуперативной приточно-вытяжной вентиляции работа рекуператора определяется его КПД ( $\eta$ ), который показывает, какое количество тепла рекуператор сумел передать за счет вытяжного воздуха в приточный. Следует отметить, что коэффициент рекуперации (КПД) зависит одновременно от нескольких величин, причем зависимости эти нелинейные и взаимосвязанные. Теоретически, подбирая нужные параметры этих величин, можно получить любой коэффициент рекуперации. Но это будет коэффициент, когда параметры зафиксированы на какой-то момент времени  $t$ . Именно это значение чаще всего и указывают производители в своих паспортах и каталогах.

В реальной жизни, тем более в условиях регионов Центрального федерального округа, параметры воздуха все время меняются, поэтому при уменьшении эффективности рекуперации, то есть теплоты в системе вентиляции, в зависимости от температуры наружного воздуха, значения эффективности не должны быть ниже температуры обмерзания [3]. В связи с этим, во-первых, в условиях климата регионов ЦФО при низких температурах эффективность рекуператора не может быть выше  $0,56...0,6\%$ , во-вторых,  $\eta$  (КПД) рекуператора зависит от норм воздухообмена. Регламент норм воздухообмена для жилых помещений следующий:  $t_c = +22...26^\circ\text{C}$ , влажность  $30...60\%$ ;  $V_{\text{дв. вент}} = 0,1...0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ , расход воздуха  $200...1200 \text{ м}^3$ .

Итак, по мере снижения температуры притока воздуха на входе в рекуператор значения его эффективности снижаются. На рис. 2 показана предельная эффективность рекуперации теплоты в системах приточно-вытяжной вентиляции в период холодного наружного воздуха.

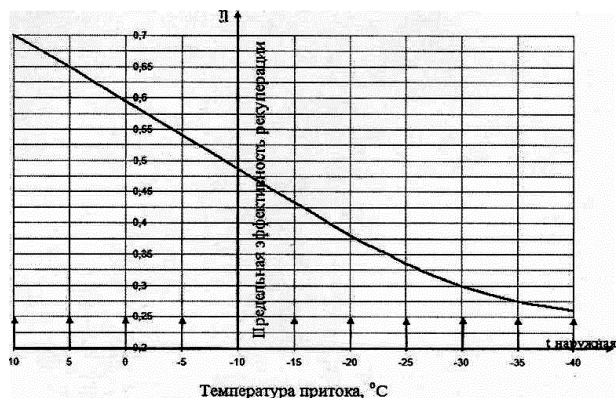


Рис. 2

Необходимо отметить, что производители, поставляющие данное устройство (рекуператор), не предоставляют данных об эффективности рекуператора в зависимости от предела обмерзания, а только предлагают воспользоваться графической функцией (рис. 2), предоставляя пользователю возможность самому определиться с границей обмерзания. В нашем случае принимается во внимание температура в помещении  $t_{\text{внутр}} = 22...23^\circ\text{C}$ , и значению влажности воздуха на вытяжке соответствует относительная влажность 23...25%.

Что касается стратификации (температурного расслоения) воздуха в разных зонах (в нашем случае у пола и под потолком) за счет разности плотностей прохладного и теплого воздуха, то при высоте потолков 2,5...3,0 м температура воздуха в рабочей зоне (на уровне 1,5 м от уровня пола) отличается от температуры уровня потолка (2,5 м) не более чем на 2...5 граду-

сов, что является незначительным при необходимости добавочной тепловой мощности.

В соответствии со СНиП 41-01-2003 влажность воздуха не нормируется, но в качестве рекомендаций оптимальной нормы для обслуживаемой зоны жилых, общественных и административно-бытовых помещений в холодный и переходный периоды года могут быть приняты нормы по СНиП 2.04.05-91 с относительной влажностью 45...30% при температуре воздуха 20...23°C. СанПиН 2.24 №548-96 предписывает в качестве оптимальной нормы относительную влажность 40...60% и в качестве допустимой нормы не ниже 19%, что мы и имеем (рис. 3). При влажности ниже 19% воздух становится сухим, то есть некомфортным.

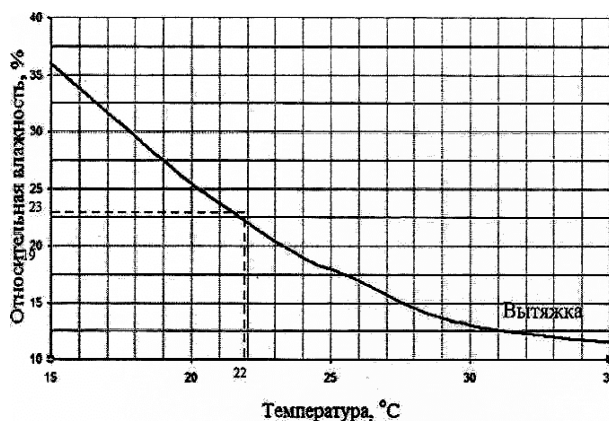


Рис. 3

Рассчитаем температуру воздуха ( $t_p$ , °C), поступающего из рекуператора, при изменении наружного воздуха ( $t_{\text{нар}}$ , °C), учитывая предельную эффективность рекуператора ( $\eta$ ) по условиям обмерзания (рис. 3). Из графика видно, что при температуре  $-10^\circ\text{C}$  на улице КПД ( $\eta$ ) составляет 50%. Тогда:

$$t_p = (t_{\text{внутр.возд}} - t_{\text{нар.возд}}) \eta + t_{\text{нар.возд}} \rightarrow t_p = [22 - (-10)] \cdot 50\% + (-10) = 6^\circ\text{C}. \quad (3)$$

В первом случае, когда ВТН работает без рекуператора при соответствующих температурных условиях, предлагается в качестве компенсации забираемого воздуха из помещения, сохраняя тепловой ба-

ланс воздухообмена, обеспечить дополнительно подачу 600 Вт (0,6 кВт) тепловой мощности в пределах трех минут дополнительной работы ВТН [1].

Во втором случае, при наличии рекуператора и в соответствии с КПД ( $\eta = 50\%$ ), в данных условиях ВТН будет дополнительно работать 1,5 мин, затратив 0,3 кВт.

## ВЫВОДЫ

1. В работе рассмотрен процесс естественной вентиляции – воздухообмена с учетом потребности его для работы воздушного теплового насоса, а также процесс воздухообмена с рекуператором. В результате рассмотренных условий в том и другом случае получен результат, который позволяет сократить генерируемую тепловую мощность при наличии рекуператора в 2 раза.

2. В дальнейшем считаем целесообразным развивать и реализовывать современные технологии с рекуператорно-вентиляционной системой теплоснабжения помещений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б. Экономическая эффективность воздушнотепловых насосов для объектов производственного и непромышленного назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С. 18...21.

2. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н. Возможность внедрения экологической и энергосберегающей технологии в текстильной энергетике // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №2. С. 188...192.

3. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса // Сб. научн. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2015. С. 241...251.

4. Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Емелин В.А., Воронов В.А. Энергоэффективный расчет отопления автономного строения на основе воздушного теплового насоса // Сб. научн. тр.: Теория и прак-

тика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2015. С. 185...189.

5. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Емелин В.А., Воронов В.А., Зайцева И.А. Энергоэффективность рабочего тела (хладона) воздушного теплового насоса в режиме обогрева автономного текстильного цеха (производства) // Сб. научн. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – 2016. С.189...197.

## REFERENCES

1. Alojjan R.M., Fedoseev V.N., Petruhin A.B. Jekonomicheskaja jeffektivnost' vozdušnoteplovyh nasosov dlja ob'ektov proizvodstvennogo i neproizvodstvennogo naznachenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №1. S. 18...21.

2. Alojjan R.M., Petruhin A.B., Fedoseev V.N. Vozmožnost' vnedrenija jekologičeskoj i jenergosberegajushhej tehnologii v tekstil'noj jenergetike // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №2. S. 188...192.

3. Voronov V.A., Emelin V.A., Fedoseev V.N., Zajceva I.A. Klimatičeskie uslovija i faktory, vlijajushhie na proizvoditel'nost' vozdušnogo teplovogo nasosa // Sb. nauchn. tr.: Teorija i praktika tehničeskih, organizacionno-tehnologičeskih i jekonomičeskih rešenij. – 2015. S. 241...251.

4. Fedoseev V.N., Zajceva I.A., Emelin V.A., Voronov V.A. Jenergojeffektivnyj rasčet otopenija avtonomnogo stroenija na osnove vozdušnogo teplovogo nasosa // Sb. nauchn. tr.: Teorija i praktika tehničeskih, organizacionno-tehnologičeskih i jekonomičeskih rešenij. – 2015. S. 185...189.

5. Fedoseev V.N., Petruhin A.B., Emelin V.A., Voronov V.A., Zajceva I.A. Jenergojeffektivnost' rabočego tela (hladona) vozdušnogo teplovogo nasosa v rezhime obogreva avtonomnogo tekstil'nogo ceha (proizводства) // Sb. nauchn. tr.: Teorija i praktika tehničeskih, organizacionno-tehnologičeskih i jekonomičeskih rešenij. – 2016. S.189...197.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 29.09.16.